

JAERI-Review

JP0450241

2003-032



先端基礎研究専門部会評価結果報告書  
(平成15年度事後・中間・事前評価)

2003年11月

研究評価委員会

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2003

編集兼発行 日本原子力研究所

先端基礎研究専門部会評価結果報告書  
(平成 15 年度事後・中間・事前評価)

日本原子力研究所  
研究評価委員会

(2003 年 9 月 10 日受理)

研究評価委員会は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、先端基礎研究専門部会を設置し、先端基礎研究センターの平成 14 年度終了テーマの事後評価、平成 13 年度開始テーマの中間評価及び平成 16 年度開始テーマの事前評価を実施した。同専門部会は、9 名の外部専門家で構成された。

先端基礎研究専門部会は、平成 15 年 5 月から平成 15 年 7 月にかけて、当該部門の研究評価活動を実施した。評価は、事前に提出された評価用資料及び専門部会会合（平成 15 年 6 月 24 日開催）における被評価者の説明に基づき、研究評価委員会によって定められた評価項目、評価の視点、評価の基準に従って行われた。

同専門部会が取りまとめた評価結果報告書は、研究評価委員会に提出され平成 15 年 8 月 4 日に審議された。審議の結果、研究評価委員会は、この評価結果を妥当と判断した。本報告書は、その評価結果である。

Report of the Evaluation by the Ad Hoc Review Committee  
on Advance Science Research  
(Result Evaluation, Interim Evaluation,  
In-advance Evaluation in Fiscal Year 2003)

Research Evaluation Committee

Japan Atomic Energy Research Institute  
Suehiro-cho, Kashiwa-shi, Chiba-ken

(Received September 10, 2003)

The Research Evaluation Committee, which consisted of 13 members from outside of the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), set up an Ad Hoc Review Committee on Advanced Science Research in accordance with the "Fundamental Guideline for the Evaluation of Research and Development (R&D) at JAERI" and its subsidiary regulations in order to evaluate the accomplishments of the research completed in Fiscal Year 2002, the accomplishments of the research started in Fiscal Year 2001, and the adequacy of the programs of the research to be started in Fiscal Year 2004 at Advanced Science Research Center of JAERI. The Ad Hoc Review Committee consisted of nine specialists from outside of JAERI.

The Ad Hoc Review Committee conducted its activities from May to July 2003. The evaluation was performed on the basis of the materials submitted in advance and of the oral presentations made at the Ad Hoc Review Committee meeting which was held on June 24, 2003, in line with the items, viewpoints, and criteria for the evaluation specified by the Research Evaluation Committee.

The result of the evaluation by the Ad Hoc Review Committee was submitted to the Research Evaluation Committee, and was judged to be appropriate at its meeting held on August 4, 2003.

This report describes the result of the evaluation by the Ad Hoc Review Committee on Advanced Science Research.

Keywords : Evaluation of Research, Research Evaluation Committee, Advanced Science Research, Result Evaluation, Interim Evaluation, In-advance Evaluation

## 評価の経緯について

研究評価委員会事務局  
(企画室・研究評価推進室)

研究評価委員会（委員長：西澤潤一・岩手県立大学長）は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」（平成10年4月策定）及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」（平成10年4月策定、平成11年4月改正）に基づき、先端基礎研究センターの研究テーマについて、平成14年度終了テーマの事後評価、平成13年度開始テーマの中間評価及び平成16年度開始テーマの事前評価を実施するために、「先端基礎研究専門部会」を平成15年2月25日に設置した。

先端基礎研究専門部会は、9名の外部専門家で構成され（部会長：池田重良・立命館大学総合理工学研究機構SRセンター顧問）、部会会合は平成15年6月24日に開催された。同専門部会による評価は、研究評価委員会によって定められた評価の方法に従って行われた。同専門部会は評価結果を取りまとめ、平成15年8月4日に「先端基礎研究専門部会評価結果報告書」を研究評価委員会委員長に提出した。

研究評価委員会は、平成15年8月4日に第11回研究評価委員会を開催し、同専門部会部会長から先端基礎研究専門部会評価結果の説明を受け、審議を行った。その結果、研究評価委員会は、同専門部会の評価結果が妥当なものと判断し、同報告書を平成15年8月5日付けにて日本原子力研究所理事長に答申した。

平成 15 年度研究評価委員会委員(13 名)

委員長 西澤 潤一 岩手県立大学長

委員長代理 秋山 守 (財)エネルギー総合工学研究所理事長

委 員 秋元 勇巳 三菱マテリアル(株)取締役会長

〃 菊田 惺志 (財)高輝度光科学研究中心理事

〃 草間 朋子 大分県立看護科学大学長

〃 小林 敏雄 (財)日本自動車研究所長

〃 斎藤 鐵哉 物質・材料研究機構監事

〃 白土 良一 電気事業連合会原子力開発対策委員会委員長

〃 代谷 誠治 京都大学原子炉実験所長

〃 田川 精一 大阪大学産業科学研究所教授

〃 田中 知 東京大学大学院工学系研究科教授

〃 本島 修 核融合科学研究所長

〃 山崎 敏光 東京大学名誉教授

(委員については五十音順)

(平成 15 年 8 月現在)

先端基礎研究専門部会評価結果報告書  
(平成 15 年度事後・中間・事前評価)

平成 15 年 8 月

日本原子力研究所  
研究評価委員会  
先端基礎研究専門部会

This is a blank page.

## 目 次

## はじめに

## 総合所見

1. 専門部会の目的 .....	1
2. 評価方法 .....	1
2.1 専門部会の構成 .....	1
2.2 事後評価、中間評価及び事前評価対象テーマ .....	1
2.3 専門部会会合の開催 .....	1
2.4 評価項目及び評価基準 .....	2
3. 評価対象テーマの概要と評価結果 .....	5
3.1 先端基礎研究センターにおける研究開発 .....	5
3.1.1 先端基礎研究センターにおける研究計画の全体概要 .....	5
3.1.2 所見 .....	8
3.2 逆コンプトンガンマ線の生成と核分光の研究：事後評価 .....	10
3.2.1 研究実績の概要 .....	10
3.2.2 評価結果 .....	11
3.3 パルス中性子イメージング検出法の研究：事後評価 .....	13
3.3.1 研究実績の概要 .....	13
3.3.2 評価結果 .....	14
3.4 機能性生体物質の水和構造研究：事後評価 .....	16
3.4.1 研究実績の概要 .....	16
3.4.2 評価結果 .....	17
3.5 変形核の融合による重元素合成：事後評価 .....	19
3.5.1 研究実績の概要 .....	19
3.5.2 評価結果 .....	20
3.6 超アクチノイド元素の核化学的研究：事後評価 .....	22
3.6.1 研究実績の概要 .....	22
3.6.2 評価結果 .....	23
3.7 機能性反応場におけるアクチノイド化学の研究：事後評価 .....	25
3.7.1 研究実績の概要 .....	25
3.7.2 評価結果 .....	26
3.8 極限条件におけるハドロン科学の研究：事後評価 .....	28
3.8.1 研究実績の概要 .....	28
3.8.2 評価結果 .....	29
3.9 多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究：中間評価 .....	31
3.9.1 研究実績の概要 .....	31
3.9.2 評価結果 .....	32

3.10 新規なウラン化合物の創成と電子状態の研究：事前評価 .....	34
3.10.1 研究計画の概要 .....	34
3.10.2 評価結果 .....	35
3.11 中性子散乱によるウラン化合物の物性研究：事前評価 .....	37
3.11.1 研究計画の概要 .....	37
3.11.2 評価結果 .....	38
3.12 放射線によるクラスターDNA損傷の研究：事前評価 .....	40
3.12.1 研究計画の概要 .....	40
3.12.2 評価結果 .....	41

## Contents

## Introduction

## Executive Summary

1. Purpose of the Ad Hoc Review Committee .....	1
2. Evaluation Method .....	1
2.1 Organization of the Ad Hoc Review Committee .....	1
2.2 Research Subjects for Result Evaluation and In-advance Evaluation .....	1
2.3 Ad Hoc Review Committee Meeting .....	1
2.4 Items and Criteria for the Evaluation .....	2
3. Outline of the Research Subjects for Evaluation and Results of the Evaluation .....	5
3.1 Relation between the Research Program at Advanced Science Research Center and the Research Subjects for Evaluation .....	5
3.1.1 Outline of the Research Program at Advanced Science Research Center .....	5
3.1.2 Comments .....	8
3.2 Research on Inverse Compton Gamma-ray Spectroscopy : Result Evaluation .....	10
3.2.1 Outline of the Research Achievements .....	10
3.2.2 Results of the Evaluation .....	11
3.3 Research on Pulsed-neutron Imaging Method : Result Evaluation .....	13
3.3.1 Outline of the Research Achievements .....	13
3.3.2 Results of the Evaluation .....	14
3.4 Research on Hydration Structure of Functional Biological Macromolecules : Result Evaluation.....	16
3.4.1 Outline of the Research Achievements .....	16
3.4.2 Results of the Evaluation .....	17
3.5 Research on Heavy-ion Fusion Reaction between Deformed Nuclei : Result Evaluation .....	19
3.5.1 Outline of the Research Achievements .....	19
3.5.2 Results of the Evaluation .....	20
3.6 Research on Nuclear Chemistry of Transactinide Elements : Result Evaluation .....	22
3.6.1 Outline of the Research Achievements .....	22
3.6.2 Results of the Evaluation .....	23

3.7 Research on Actinide Chemistry in Functional Reaction Fields :	
Result Evaluation .....	25
3.7.1 Outline of the Research Achievements .....	25
3.7.2 Results of the Evaluation .....	26
3.8 Research on Science of Hadrons under Extreme Conditions :	
Result Evaluation .....	28
3.8.1 Outline of the Research Achievements .....	28
3.8.2 Results of the Evaluation .....	29
3.9 Research on Neutron Scattering in Extreme Environments :	
Interim Evaluation .....	31
3.9.1 Outline of the Research Achievements .....	31
3.9.2 Results of the Evaluation .....	32
3.10 Research on Electronic States in New Uranium-based Intermetallic Compounds : In-advance Evaluation .....	34
3.10.1 Outline of the Research Plans .....	34
3.10.2 Results of the Evaluation .....	35
3.11 Research on Uranium Compounds by Means of Neutron Scattering :	
In-advance Evaluation .....	37
3.11.1 Outline of the Research Plans .....	37
3.11.2 Results of the Evaluation .....	38
3.12 Research on Radiation Induced Clustered DNA Damages :	
In-advance Evaluation .....	40
3.12.1 Outline of the Research Plans .....	40
3.12.2 Results of the Evaluation .....	41

## はじめに

先端基礎研究センターに植え付けられた、放射場科学、重元素科学及び基礎原子科学の原子力科学基礎研究の3本の木はこの10年の間にがっしりと根を張り、幹を太らせて年々新しい枝を増やして成長を続けてきた。そして今まで世に出ていなかった原子力に関わる全く新しい味覚の学術的成果を生み出し、自然の中に秘められたエネルギーの源の本体やその営みの可能性を人々に伝え、またその成果から、新しい科学・技術の創生を促してきたことは本専門部会委員全員の認める処である。とは云え、年々の研究成果並びに研究計画を、厳密に正しく評価して、研究活動がセンター設立の理念に沿って支障なく健全に遂行されるように意見を述べるのが本部会の任務である。本部会の評価活動に関わる基本要領は、平成15年2月25日の研究評価委員会によって定められたものに従った。

本部会は、今年度は平成14年度に終了した7研究テーマの事後評価、平成13年度に開始した1研究テーマの中間評価、及び平成16年度開始予定の新規3テーマの事前評価を行った。まず、提出された各研究テーマに関する評価資料を調査し、記載内容についての質問等を含めて1次評価を行った。次に、平成15年6月24日に開かれた部会会議において、各研究グループリーダー及びその予定者から詳細な説明を受け、質疑討論を行った。その後部会委員のみによる意見の交換を充分に行い、この結果を踏まえて各委員は2次評価を行うという慎重な手続きをとった。そして、6月30日までに事務局に提出された各委員の評価結果をもとに部会長が報告書の原案を作成した。作成に当たっては各委員からの評価を出来るだけ尊重し、貴重な意見は少数でも取り入れるように努めた。この原案を各委員に配布して意見を求め、修正を繰り返し行った上で最終報告書を作成した。

評価審議に関連して、先端基礎研究センターのこれまでの動き、並びにこれからセンター全体の研究計画についてセンター長より説明を受けたが、原研の特色を把握した重点的研究項目への集中した研究計画の実行と設備の充実、そして優れた研究グループの構成によって着々と国際的な COE 化が進んでいる印象を受けた。しかしながら、創設して10年を迎えた昨今、センターを取り巻く環境が大きく変貌しようとしている。このセンターの内外の動きに対してセンター長は弾力的、機動的に対応して着々と準備を始めて計画を進めておられる様子が平成16年度のセンター全体計画の中からも伺うことが出来た。

本部会としては、このような時代の動きを認識しつつ、事後評価、中間評価並びに平成16年度開始予定の研究テーマの事前評価について、いずれもその内容の学術的価値観と原研の先端基礎研究としての価値観に立脚してその波及効果も考慮の上慎重な審議を行った。本評価が先端基礎研究センターの研究活動の新展開に貢献することを願うものである。

本年度も非常に限られた期限の中で、例年より多い数の研究テーマの評価を行ったが、委員各位の貴重な時間を費やしてのご協力と並々ならぬ御尽力、並びに事務局の評価参考資料収集を始めとする適切な対応に厚く御礼申し上げる次第である。

平成15年7月31日  
先端基礎研究専門部会  
部会長 池田 重良

## 総合所見

### (1) 先端基礎研究センターにおける研究計画の全体概要

全体を通じてセンター長のリーダーシップがよく發揮されて、原研の特色を把握した重点的研究項目への集中した研究計画の実行と設備の充実、そして国際化をも含めた柔軟で弾力性のある人材の登用が効を奏し、着々と国際的な COE 化が進んでいる印象が強い。放射場科学、重元素科学および基礎原子科学の 3 本の柱は年毎に成長していく様子が理解出来る。しかし、わが国の自然科学研究の基礎・応用両面の動向ならびにその研究環境は大きく変わろうとしている。その中にあって、われわれが最も案じていたのは、原子力二法人の統合化に伴う研究理念の見直しである。先端基礎研究センターでは、平成 17 年度の新法人発足に向けて、これまでの研究のありかたを背景として、大学等、外部研究機関との連携の強化等を考慮に入れた新しい研究領域の検討に入っているという。また、外部環境の変化とともに、内部において、J-PARC 計画の推進に関連して誕生した中性子利用研究センターの新体制に対して、全面的に協力する計画も明確に打ち出されている。その思い切った協力内容は妥当であり、賛意を示すと共に敬意を表したい。しかし、本センターには中性子利用研究センターの支援をしながらも、一線を画した特色ある基礎的研究を期待するものである。さらに先端基礎研究センターとしては中性子科学とは異なった全く新しい方向の研究を J-PARC の稼動にあわせて設立することを計画しているとのことである。大きな変革の時空の流れのなかで、先端基礎研究という言葉を重く受け止めて、原子力科学研究の COE への道を着実に進まれることを望みたい。

今回の事後評価の対象となった研究テーマは、いずれも研究成果そのものの評価は高く、その重厚さを深く感じた。特に物質科学の分野では外部の研究者と原研内の研究者がしっかりと取り組みのともに世界に誇れる仕事を残して原研のプロジェクトとして確実に根をおろした。しかし、他の領域のテーマのなかには研究の成果そのものは重厚且つ新鮮で、世界的に誇れる大成功を収めているにも関わらず、原研内でこれを受け継ぐ芽を育てるには時空の隔たりを感じるものや、逆に、センター内部の研究者を中心とした研究テーマで、優れた成果を挙げて居られるのに原研の中に閉じたものとなって、次のステップが難しいと感じるものも見られた。

平成 16 年度の「先端基礎研究センター」の研究計画は、いずれもが放射場科学、重元素科学あるいは基礎原子科学のいずれかの一つ、または二つに関わるものである。緻密な実行計画のもとに独創性の高い特色ある展開を期待している。

国をあげて基礎研究重視が強調されている中にも拘らず、先端基礎研究センターの平成 15 年度の研究費が減少している。この点が理解できない。原子力科学基礎研究の重要性、有用性を説くまでもないであろう。研究支援の体制については、本センターの意義と成果をさらに高める視点からのチェックが望まれる。一方、研究者側も、各種の研究助成の公募制度を活用して研究資源のいくらかでも直接外部から導入する工夫をこれまで以上に努力する必要があろう。これはまたその助成申請を通じて、自らの研究内容およびその水準について客観的評価を受ける良い機会となる、と考えるべきである。

## (2) 逆コンプトンガンマ線の生成と核分光の研究（事後評価）

世界最高エネルギーの逆コンプトンガンマ線のビームを作り出し、極めて優秀な実験装置を完成させ、それからいくつかの注目すべき成果を得ている。 $\Theta^+$ 粒子の発見はおおきな成果であり、装置の建設から始まってここまでこぎつけたことは高く評価されるべきである。着実に目標を達成しているのみならず、当初計画からの予想を越える、世界に誇るべき、極めて高水準の研究成果があがっている。本プロジェクト発足までに積上げられた実績を基礎において、リーダーは関連大学、原研及びJASRIの研究グループと協同して緻密な計画を建てられ、その上で原研のタンデム加速器を用いた核構造研究者も入った研究グループを作られたものと思う。これだけの成果を挙げるに到った逆コンプトンガンマ線利用に関する研究の当初の計画に関しては極めて適切であった。予想できないことも含め、展開の可能性は大きいと予想される。既にこのグループは新しい素粒子共鳴状態 $\Theta^+$ の発見において、未開の領域を拓きつつある。ここまで成果を挙げたところで原研・先端基礎研究センターから離れていくのが割り切れないところがあるが、原研が萌芽を育て成功に貢献した意義は大きい。

## (3) パルス中性子イメージング検出法の研究（事後評価）

高感度・広ダイナミックレンジ・高位置分解能のパルス中性子イメージング法の実現を目指して、高選択性の検出媒体の新輝尽性蛍光体の開発やイメージングシステムの構築に努力してきたことが理解出来る。本研究は広く浅くといったところが見えないでもないが、新しい蛍光体の開発や高速読み取り法を実証するなど検出法の実用化に向けて着実な成果が得られている。イメージングプレート及びシンチレーターによるパルス中性子イメージング検出法の開発を目標に研究を進めてこられたが、5年のプロジェクトとしてはテーマをもっと具体的に絞るべきであったかと考える。材料開発とシステム高度化のどちらか、研究グループの得意とするところと他の研究者の協力を仰ぐべきところをもう少し明確にして取り組むとよかったです。実用化のための問題点を究めて、今後、よりテーマを絞って実用化に向けた展開をすることを期待したい。

## (4) 機能性生体物質の水和構造研究（事後評価）

中性子回折測定装置の精密・高機能化、測定試料の結晶育成技術の開発、水素原子の位置決定、結合状態の解析等の技術を確立し、高次水和構造の微視的決定が次々と精密に行なわれている。DNAの解析実験や生体蛋白質の機能発現機構解明へ前進している様子がよくわかった。生体試料の構造解析専用の中性子回折装置を建設し、構造生物学が求める水和構造の研究に集中した目標の設定は明快である。それに沿った研究計画も極めて妥当且つ先端的で、研究は順調に進められてきた。研究費も原研からの予算ばかりではなく外部資金も導入して、研究者も多数結集して研究資源の利用が上手に行われている。当研究の目標とするところは21世紀の自然科学研究として重要な課題であり、また中性子回折技術は

生命科学研究の先端科学技術としてこれから活躍が約束されている。構造精密化中のヒトリゾチームの水和構造の研究などを含めて今後さらに多くの成果が出てくるであろう。「中性子利用研究センター」における研究の新たな展開を期待したい。

#### (5) 変形核の融合による重元素合成（事後評価）

重い核の融合反応の基礎研究において、変形した原子核を衝突させた核融合反応について変形の効果を見出し、研究の成果の発表も適切に行われていて、この分野に意義ある貢献をなしていると判断される。深部非弾性散乱を用いた中性子過剰核のスペクトロスコピーも成果が上がっている。しかし、非偏極実験ではやはり限界があり、定性的な結論に留まっており、報告された結果は理論的予想を支持する結果であるが、その理論的説明は必要充分であるとは言い難い。この研究は、超重元素そのものの生成を目指したものではなく、その有効な手段として変形核の利用によって融合反応が起こり易くなるという理論的提案を実験的に確かめることが目標であった。その意味では本計画は妥当であり充分な成果をあげた。しかし、本来の動機であった超重元素生成に挑戦するか、すくなくともその具体的な道筋を示して欲しかった。超重元素の合成は原子力科学の先端且つ基礎的な学術的重要課題の一つであろう。融合反応過程の「基礎論」を経て、今後、原研として超重原子核の探索にどう取り組むか具体的な戦略が必要である。

#### (6) 超アクチノイド元素の核化学的研究（事後評価）

わが国初めての超アクチノイド元素の合成に成功し、その迅速分離のための単一原子迅速分離実験システムを構築した。そして原子番号 104 の元素 Rf の化学的挙動を実験的に求め、これまでにない精密な分析結果を入手して Rf 元素の化学的性質に対する相対論的效果を確証することに成功している。さらに核反応生成物の迅速搬送－同位体分離システムの構築を行って超重核種の壊変に関する研究を進めた。ここでも新核種の発見に成功している。本研究ではアクチノイドの陽子誘起核分裂過程の研究にも挑戦して、飛行時間同時測定装置を開発して、新しい知見を得ている。当初の目標設定は意欲的過ぎるよう思ったが着実に成果を挙げられた。ただ、アクチノイド内包フラーーゲンの研究は当初の計画には入っていなかった。研究そのものは注目に値する仕事であるが、超アクチノイドに関する研究を進めている本研究テーマの中に、アクチノイド化合物の独立的な課題を途中から取り入れた理由は明確にしておく必要があろう。放射性アクチノイドターゲットを扱えるところは、日本では原研しかないし、世界でも五指に満たない。その貴重な原研でアクチノイド化学の研究が始まったことはすばらしい。引き続き新しいテーマのもとに研究が進められるものと理解しているが、実験条件を変化させて精度の高い測定を続けるためには合成の収率を 10～100 倍以上に高める必要がある。現在のタンデム加速器ではどうにもならない。原研以外では出来ない研究であるから原研に強力な加速器を建設するくらいの迫力をもって取り組むべきである。

### (7) 機能性反応場におけるアクチノイド化学の研究（事後評価）

本研究は、先端研のプロジェクトの中で最も成功した研究の一つである。本研究は、超臨界流体の物性、媒体としての性格の解明、超臨界場におけるアクチノイド化合物の溶存状態等を、より基礎的に解明することによって新規アクチノイド分離反応場の探索を目的として計画されたものである。そして凝縮相界面こそがアクチノイド元素の分離の機能性を発現する反応場であることを洞察し、研究を多角的に発展させて機能性反応場の構築に基づくアクチノイドイオンの特異的反応性を見出して新規分離法の開発を図っている。その成果は新規性に富み、学術的にも非常に有益であり、初期の目的は十分に達成されている。目標の設定は妥当であり、研究資源の利用も適切である。結果的に解析の方法論をレーザー蛍光分光法と電気化学的方法論に絞った点が良かったと感ずる。特に蛍光寿命の測定等分光法の活用には注目したい。機能性反応場におけるアクチノイドの溶存状態の解明はこれらの元素の選択的分離の効率を高めるための基礎となる情報である。今後、研究開発の展開は実用化の段階と進んでおり、その発展が期待できる。ウラン廃棄物については除染技術の開発が必要とされている。本研究で検討された分離法はその有力な候補としての展開が期待される。

### (8) 極限条件におけるハドロン科学の研究（事後評価）

先行した研究において開発された分子動力学に改良を加えつつ、種々の理論を導入した手法を用いて、初めて中性子星を取り上げて、それを中心にハドロン多体系の極限状態における構造、構成要素の振る舞い等に関する研究を幅広く行ってこられた。多岐にわたる最先端の問題が理論的に研究されている。多種多様の研究に取り組み、やや手を広げ過ぎている感じもあるが、数多くの成果が挙がっている。理論の方法論、JQMDなどの計算コードは原研が誇れるものであると思う。大規模計算の実行可能な計算機環境を利用するものとしては適切な計画であった。ハドロン科学の研究は原子力科学の基礎的理論研究の一つとして特色ある研究である。学術的には勿論であるが、原研に基礎物理理論の研究グループも必要であると思われる所以、この研究を発展させるのが適当と考える。しかし、本質的に非相対論的な理論を用いてクォーク多体系や粒子の生成消滅を伴う極限状態を扱うことには限界があるのではなかろうか。将来、相対論的な扱いが可能な理論の開発が原研グループから発信するようになることを期待したい。

### (9) 多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究（中間評価）

研究の目的が「多重極限環境下における中性子散乱実験法の開発」にあるとすれば、まだ研究途上ではあるが、すでにいくつかの内容の開発が着実に進行している。高圧、強磁場、超低温などの極限条件下で中性子散乱測定を行なうことにより、 $U_3Pd_{20}Si_6$  における強磁性秩序と反強磁性秩序の共存の発見など良い結果が得られている。世界と競争して、極限を追及する計画であることを考えれば厳しい計画かも知れないが、目標設定は適切で

あり、装置の試作のなかには新しい冷凍法の導入も計画されている。開発研究は適切に進行している。中性子利用研究センターに移行することは適切であると考える。但し先端研の研究との密接な連携が保たれることが必要である。我が国ではユニークな装置なので、重い電子系の研究等、他では出来ない研究をより発展させる方向にある。中性子利用研究センターに移行した後も、オリジナルな開発を進めてもらいたい。

#### (10) 新規なウラン化合物の創成と電子状態の研究（事前評価）

現在、物性物理学の最先端の研究テーマであり、早急に開始すべき、重厚な研究である。研究の方向性・目的・目標、すべてにおいて妥当であると評価したい。本研究グループはこれまでにもウラン化合物の研究において非常に高い成果を出してきており、今後準2次元物質の創成や圧力下の物性の研究を外部大学との協力を築きながら進めることは大変妥当なテーマといえる。この研究は、新しいウラン化合物の創製に挑戦し、新しい機能の発見に繋げようとするものである。本研究は、新規性・独創性が高く、ウラン化合物の物性研究を主要課題とする先端研の研究の基盤形成をなすものである。セリウムやネプツニウムなどの化合物も研究の対象にいれており、本研究より得られる成果は物性物理学の発展におおいに寄与することが予想されて、その学術的意義も深い。研究計画は良くねられており、国内の他の機関では出来ないウラン試料を原研で創製し、外部の大学等の研究者の協力のもとに、系統的に研究を進めることは、大変有効な進め方で、妥当である。予算、人員構成ともに妥当である。

#### (11) 中性子散乱によるウラン化合物の物性研究（事前評価）

ウラン化合物の中性子散乱実験は重要で、推進すべきものである。研究計画によると、ウランを主とするアクチノイド化合物について、中性子弾性散乱実験を通して、電子構造、結晶構造、磁気構造、多極子秩序構造の微視的解析を行い、さらに多極子間相互作用の新しい測定等が計画されている。研究テーマは優れたテーマで、方向性、目標等は妥当である。ウラン化合物の中性子散乱研究は原研が行うに大変適した環境と設備を有しており、世界的な成果が十分に期待できる、学術的意義の深い研究である。「多重極限環境下における中性子散乱実験法」などの利用により、新たな進展が得られる可能性がある。「ウラン化合物の物性研究」を主題とする先端研の研究テーマの一端を担うものとして、Walstedt グループや大貫グループとの連携を良くとて、独創的な研究を進めるよう期待する。原研が保有する研究用原子炉を有効に利用し、試料作成のグループとの協力関係も確立しており、研究の進め方は妥当であるが、ゆとりある且つ緻密な実験計画の構築を望む。研究推進上の課題・問題点とされている研究支援スタッフの点について、対策が示されていないのが気がかりである。中性子利用研究センターに移った森井グループとの連携に努め、人員や装置の補強を図ることが望ましい。

## (12) 放射線によるクラスターDNA損傷の研究（事前評価）

「クラスター損傷について修復酵素タンパク質の効果を調べる」という本研究の目的、達成目標そして研究内容の方向も明確である。これまでの原研で積上げられたイオンビームに対する生命科学的研究実験を背景に考えて、本研究の実行は妥当と考える。本研究のテーマは、先端的科学的研究が激しく進んでいる生命科学の分野で、クラスター損傷の重要性自体については従来から良く指摘されているので、修復酵素タンパク質の効果を調べることがセールスポイントであろう。このような研究は他ではまだ試みていないことであるから、新規性・独創性・学術的意義が十分備わっている。原研の持っている各種のビームをDNAに当てて放射線損傷を調べるというのは、まさに原研の特色を生かした研究であると云える。DNA損傷の生物物理化学的解析など、研究の進め方は妥当なものと言える。原研の有する放射線源を有効に利用しようとするものであるが、新たにP1施設を必要とし、その上、種々の放射線源を利用する研究である。新P1実験室にかかる費用が充分であれば資源配分は妥当であると判断する。研究計画によると放射光利用実験には照射実験と分析実験の両方が含まれており、この分野の研究実験に経験の深い研究者がグループリーダーとなるのが妥当であるが、人員構成については、よく検討すべきである。

### (13) その他

先端基礎研究センター（先端研）のプロジェクトは原研内外の交流を図り、研究の活性化に大いに貢献して来た。その成否は研究テーマの選定、グループの形成、即ち研究グループの在り方によると考えられる。本部会でも研究グループの在り方については常に関心を寄せてきた。これまでの評価の過程で経験して来た、研究グループの在り方について考えてみると次の4つの範疇に分けられる。

- ①原研内部のリーダーの下に、原研内部だけで研究を進める。
  - ②原研内部のリーダーの下に、外部の研究者を取り込んで研究を進める。
  - ③原研外部の研究者がリーダーとなって原研内部の研究者と協力して研究を進める。
  - ④原研外部の研究者がリーダーとなってグループが形成されるが、研究テーマは原研にその素地は無く、研究は専ら原研外で行なわれる。

このうち①②③についてはその成果は直接原研、先端研の活性化に繋がるものであるが、④は原研・先端研の成果と直ちに繋がるものでなく、原研・先端研内に研究が育つには時空の隔たりのあるもので、無縁のものとなる可能性もある。しかし、このようなプロジェクトを打ち立てて、育成し、成功に導くことは、日本の原子力科学研究の活性化に貢献し、合わせて原研・先端研内の研究者の意識改革を促すことにもなる。このようなあり方も、斯界のCOEとしての原研・先端研の使命の一つと受け止めることも出来よう。①、②、③についても、どの道を選ぶかによって活性化の方向に差異が出てくることである。10周年を期に研究領域の再検討を行うにあたって、一層広い視野で且つ大胆に、先端研の将来を見据えて、グループ研究の在り方、グループリーダーの選び方について考えるべきであろう。基礎研究というものは、枠組みを作るべきではないと思う。この大原則を意識しながら

ら、一方で研究テーマの発散を防ぐために柱を立て、また枠をはめる必要があるときは個別にテーマを細かく吟味する必要があろう。先端研は共同利用研とは違って、それが出来るところであると認識している。

## 1. 専門部会の目的

「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、研究評価委員会先端基礎研究専門部会において、先端基礎研究センターの平成14年度終了テーマの事後評価、平成13年度開始テーマの中間評価及び平成16年度開始テーマの事前評価を行う。

## 2. 評価方法

### 2.1 専門部会の構成

部会長	池田 重良	立命館大学総合理工学研究機構SRセンター顧問
評価委員	山崎 敏光	東京大学名誉教授
専門委員	新井 正敏 家 泰弘 勝又 紘一 佐藤 衛 中井 浩二 前川 祯通 森山 裕丈	高エネルギー加速器研究機構教授 東京大学物性研究所教授 理化学研究所播磨研究所量子磁性材料研究チームリーダー <sup>†</sup> 横浜市立大学大学院総合理学研究科教授 東京理科大学理工学部教授 東北大学金属材料研究所教授 京都大学大学院工学研究科教授

### 2.2 事後評価、中間評価及び事前評価対象テーマ

- (1) 事後評価対象テーマ [平成14年度終了テーマ]
  - 1) 逆コンプトンガンマ線の生成と核分光の研究
  - 2) パルス中性子イメージング検出法の研究
  - 3) 機能性生体物質の水和構造研究
  - 4) 変形核の融合による重元素合成
  - 5) 超アクチノイド元素の核化学的研究
  - 6) 機能性反応場におけるアクチノイド化学の研究
  - 7) 極限条件におけるハドロン科学の研究
- (2) 中間評価対象テーマ [平成13年度開始テーマ]
  - 1) 多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究
- (3) 事前評価対象テーマ [平成16年度開始テーマ]
  - 1) 新規なウラン化合物の創成と電子状態の研究
  - 2) 中性子散乱によるウラン化合物の物性研究
  - 3) 放射線によるクラスターDNA損傷の研究

### 2.3 専門部会会合の開催

- 1. 日時 平成15年6月24日(火) 10:00~17:30
- 2. 場所 東京商工会議所 301会議室

### 3. 議事

- (1) 専門部会の審議について
  - 1) 部会長挨拶
  - 2) 審議の進め方について
- (2) 先端基礎研究センターにおける研究計画の全体概要  
(説明者：安岡先端基礎研究センター長)
- (3) パルス中性子イメージング検出法の研究（事後評価）  
(説明者：片桐グループリーダー)
- (4) 変形核の融合による重元素合成（事後評価）  
(説明者：池添グループリーダー)
- (5) 超アクチノイド元素の核化学的研究（事後評価）  
(説明者：永目グループリーダー)
- (6) 機能性反応場におけるアクチノイド化学の研究（事後評価）  
(説明者：吉田グループリーダー)
- (7) 極限条件におけるハドロン科学の研究（事後評価）  
(説明者：千葉グループリーダー)
- (8) 多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究（中間評価）  
(説明者：森井グループリーダー)
- (9) 中性子散乱によるウラン化合物の物性研究（事前評価）  
(説明者：目時グループリーダー)
- (10) 放射線によるクラスターDNA損傷の研究（事前評価）  
(説明者：横谷グループリーダー)
- (11) 逆コンプトンガンマ線の生成と核分光の研究（事後評価）  
(説明者：藤原グループリーダー)
- (12) 機能性生体物質の水和構造研究（事後評価）  
(説明者：新村グループリーダー)
- (13) 新規なウラン化合物の創成と電子状態の研究（事前評価）  
(説明者：大貫グループリーダー)
- (14) 専門部会総括討議
  - 1) 評価結果について
  - 2) 今後のとりまとめについて

#### 2.4 評価項目及び評価基準

事後評価、中間評価及び事前評価は、全て1次評価及び2次評価の2段階をとった。

1次評価においては、被評価部門から提出された評価用資料に基づき、下記の評価項目、評価の観点に沿った項目別の暫定的評価を行い、また必要に応じてその他の所見を示すとともに、被評価部門に対する質問事項があれば、これを示した。

2次評価においては、上記の評価用資料、説明用OHP資料、補足資料及び専門部会にお

ける被評価部門からの説明に基づき、下記の評価項目、評価の視点、評価の基準に沿った項目別の最終的評価を行い、また必要に応じて、その他の所見を示し、これらを踏まえて総合所見を取りまとめた。

#### 2.4.1 事後評価に係る評価項目及び評価基準

##### (1) 項目別評価

- 1) 評価項目及び評価の視点（「　」は評価の視点）
  - a) 研究テーマの目的達成度（「成果の内容、成果の発表状況」）
  - b) 当初の研究計画の妥当性（「目標の設定、研究資源の利用、スケジュール等における成功・不成功の原因の把握と分析」）
  - c) 成果の波及効果の有無（「原研内外の研究者、研究機関へのインパクト等」）
  - d) 将来への研究開発の展開の可能性
- 2) 評価の基準

上記の項目別評価に対して、5段階評価（5：優れている、4：やや優れている、3：普通、2：やや劣っている、1：劣っている）を行う。

##### (2) その他の所見

上記の視点以外の特記すべき所感、問題点、提言等を示す。

#### 2.4.2 中間評価に係る評価項目及び評価基準

##### (1) 項目別評価

- 1) 評価項目及び評価の視点（「　」は評価の視点）
  - a) 研究テーマの進捗度（「成果の内容、成果の発表状況」）
  - b) 当初の研究計画の妥当性（「目標の設定、研究資源の利用、スケジュール等における成功・不成功の原因の把握と分析」）
  - c) 成果の波及効果の有無（「原研内外の研究者、研究機関へのインパクト等」）
  - d) 将来への研究開発の展開の可能性
  - e) 研究を継続ないし終了する妥当性
- 2) 評価の基準

上記の項目別評価に対して、5段階評価（5：優れている、4：やや優れている、3：普通、2：やや劣っている、1：劣っている）を行う。

##### (2) その他の所見

上記の視点以外の特記すべき所感、問題点、提言等を示す。

#### 2.4.3 事前評価に係る評価項目及び評価基準

##### (1) 項目別評価

- 1) 評価項目及び評価の視点（「　」は評価の視点）
  - a) 研究テーマの妥当性（「方向性・目的・目標等」）
  - b) 研究の新規性・独創性、学術的意義
  - c) 研究の進め方の妥当性（「スケジュール・研究手法」）

- d) 資源配分の妥当性（「研究予算、人員構成、使用装置等」）
- e) 成果の波及効果の有無（「原研内外の研究者、研究機関へのインパクト等」）

2) 評価の基準

上記の項目別評価に対して、5段階評価（5：優れている、4：やや優れている、3：普通、2：やや劣っている、1：劣っている）を行う。

(2) その他の所見

上記の視点以外の特記すべき所感、問題点、提言等を示す。

### 3. 評価対象テーマの概要と評価結果

#### 3.1 先端基礎研究センターにおける研究開発

##### 3.1.1 先端基礎研究センターにおける研究計画の全体概要

先端基礎研究センターは、原子力の新しい可能性を求めて、放射場科学、重元素科学及び基礎原子科学の分野において研究を開拓してきているが、その目標は“21世紀の原子力関連技術を支える総合的、先導的基礎研究を推進し国際的な研究拠点を目指す”ことである。この目的のために、国内外の人材を積極的に登用し、研究の進捗に迅速に対応した弾力的・機動的運営を行うことにより、新しい物質、現象、技術の探求と新原理の構築を目指した研究を開拓している。研究の重点項目として、①ウラン及び超ウラン科学、②重元素合成と核化学、③生体を含むソフトマターの構造科学及び、④各種量子ビームを用いた表面・界面等の極限物性の研究を取り上げ、研究手法としては、超流動反応場化学、核磁気共鳴法、メスバウアーフィルタ法、陽電子回折等のセンター自前の技術群に加え、東海研究所原子炉からの中性子ビームや、SPring-8の電子・放射光、東海研究所タンデム加速器や高崎研究所の重イオンビーム等原研ならではの施設・設備を利用した研究を推進してきている。

しかしながら、先端基礎研究センターの研究活動が10年の節目を向かえた昨今、我々の研究を取り巻く環境が大きく変貌しようとしている。それらは、対外的には新法人への移行に伴う基礎・基盤研究のあり方論であり、内部的には大強度陽子加速器計画（J-PARC）推進に関連した東海研究所「中性子利用研究センター」の設立に伴う我が国の中性子散乱研究体制の再構築の問題である。

新法人における基礎研究のありかたについては、原子力二法人統合準備会議のもとで個別事業の評価・見直しがなされ新法人のミッション等についての検討がなされている。その中では、新法人においても原子力の基礎・基盤研究を総合的に推進することが高らかに謳われており、先端基礎研究センターの研究活動はある意味で認知されているように受け取れる。しかしながら、研究の遂行に当たっては、これまでにも増して産学との連携・協力を充実・強化することが求められている。特に大学との連携・協力の強化により、我が国の原子力に関する科学技術水準の向上、研究開発の活性化及び人材育成を推進することが新法人のミッションの一つとして挙げられている。先端基礎研究センターでは国内外を問わず、外部の著名研究者にグループリーダーを委嘱し（平成15年度は16テーマのうち8テーマを外部研究者（内1名は外国人）に担当してもらう）開かれた研究体制のもとに研究活動を開拓しているが、今後とも大学との更なる連携・協力を強化する方策を採ることにする。更に、先端基礎研究センターでは放射場科学、重元素化学及び基礎原子科学の研究領域を設定してきたが、大学等との連携強化という観点からこれまでの研究を拡大した研究領域の設定を念頭において、平成17年度新法人発足に向けて次世代先端基礎研究センターの研究領域について具体的な検討に入る予定である。

一方、我が国の中性子散乱研究はJ-PARCが原子炉からの中性子利用研究拠点と同一場所で実現することを受けて新しい段階に入ろうとしている。この時期に、東海研で「中性

子利用研究センター」が平成 15 年度から誕生することは、将来の国際的中性子利用研究拠点形成の核となるものとして極めて意義深いことである。我々としては、過去 10 年間にわたる先端基礎研究センターで培ってきた中性子利用研究のポテンシャルを生かし「中性子利用研究センター」の組織的な研究活動に全面的に協力する。そのために、先端基礎研究センターで進行している 5 つの中性子散乱関連プロジェクトが終了あるいは区切りがつき次第、順次研究グループを「中性子利用研究センター」に移し発展的な研究を展開していくこととする。更に、J-PARCにおいて中性子ビームと同様に重要なミュオンビームを積極的に利用した物質科学の研究に取り組むべく新しい国際的な研究グループの設立を目指す。

以上のような背景を念頭におき、平成 16 年度は次表の方針のもとに重点項目を中心として研究を展開することにする。

尚、上記基本方針は、平成 15 年 3 月 12 日開催された第 15 回基礎研究推進委員会での審議の結果了承され、事前評価に関わるテーマに関しては理事長宛てに答申された「日本原子力研究所における基礎研究の推進方策について」の方針に基づき平成 16 年度開始テーマとして評価を受けるものである。

先端基礎研究センター  
センター長 安岡 弘志

## 平成 16 年度「先端基礎研究センター」研究計画

平成 16 年度からの先端基礎研究推進に関し、以下の研究開発分野について、具体的な研究計画を新たに策定し、研究計画の具現化を図る。

(平成 15 年 3 月 12 日、基礎研究推進委員会承認)

### 1. J-PARC における中性子散乱研究体制の確立

15 年度はまず、中性子構造生物学研究グループが研究拠点を「中性子利用センター」に移す。更に、15 年度は、極限環境中性子散乱法研究グループが中間評価を迎えるので、この時点で区切りをつけて 16 年度からに研究活動を移すことにする。

### 2. ウラン・超ウラン科学の総合的推進

原研ならではの研究で当センターでの重点課題であるウラン・超ウラン科学の固体物性研究を総合的かつ強力に推進する目的で、これまでのウラン化合物の磁性・超伝導の研究を基盤として、ネプツニウムを中心とする超ウラン元素や化合物を対象とした研究への展開を図る。平成 16 年度には新たに新規なウラン化合物開発研究と中性子散乱を駆使したウラン化合物の微視的研究を開始する。この措置により、従来の NMR を用いたウラン化合物の研究、東北大金属材料研究所、材料試験炉利用施設（大洗）と共同で進める超ウラン化合物の物理と化学に関する研究と合わせて、物質開発から先端的な物性研究を総合的に推進できる体制が整うことになりこの分野の研究拠点として大きな成果が期待される。更に、米国ロスアラモス国立研究所、ヨーロッパ超ウラン元素研究所等と国際協力協定を結びこの分野の積極的な国際共同研究を展開する。

### 3. 放射線利用の先端研究の推進

放射線による DNA 損傷の分子機構を解明することを目的とした研究 (GL: 横谷関西研副主任研究員) を開始する。特に、放射線の種類に対する DNA 損傷、修復依存性を研究することから放射線リスク研究分野において DNA 損傷を指標とする新しい線量概念の提案を目指している。

### 3.1.2 所見

全体を通じてセンター長のリーダーシップがよく発揮されて、原研の特色を把握した重点的研究項目への集中した研究計画の実行と設備の充実、そして国際化をも含めた柔軟で弾力性のある人材の登用が効を奏し、着々と国際的な COE 化が進んでいる印象が強い。提出された平成 14 年度の本センターにおける研究活動の成果ならびに当初から今日までの研究プロジェクトの進行表を拝見すると、放射場科学、重元素科学および基礎原子科学の 3 本の元木が年毎に成長し、幹は年輪が増えるごとに太く大きくなっていく様子が理解出来る。しかし、設立以来 10 年を経た今日、わが国の自然科学研究の基礎・応用両面の動向ならびにその研究環境は大きく変わっている。その影響は本センターにも直接響き、昨今、センターの内外の環境が大きく転換しようとしているという。その中にあって、われわれが最も案じていたのは、原子力二法人の統合化に伴う研究理念の見直しである。センター長の説明によれば、現在検討中ではあるものの、本センターが培つて来られた原子力科学に対する基礎研究のありかたは、むしろ前向きに認知される方向にあるという。その上、本センターが積極的に実施してきた大学や諸研究機関との連携は、より強く推進する方向が強調されているという。産業界の研究者の参加については、本専門部会でも機会あるごとに触れてきたことである。センターとしても、これまで制度上許される限りの努力をしてこられたが、新法人においてはさらにこの道が広げられるという。これらの動きを念頭において、先端基礎研究センターでは、平成 17 年度の新法人発足に向けて、これまでの研究のありかたを背景として、大学等、外部研究機関との連携の強化等を考慮に入れた新しい研究領域の検討に入っているという。外部環境の変化とともに、内部において、J-PARC 計画の推進に関連して誕生した中性子利用研究センターは、これまでの先端基礎研究センターにおける中性子利用関連研究の成果の生み出したものであるといつてよいであろう。この新体制の出発に対して、産みの親の先端基礎研究センターが全面的に協力をするのは当然であるが、そのための計画も明確に打ち出されている。その思い切った協力内容は妥当であり、賛意を示すと共に敬意を表したい。しかし、中性子科学研究は原子力科学において重要な位置を占めるものであり、本センターが中性子に関して、これまで以上の奥深い道を進まれることは当然である。中性子利用研究センターの支援をしながらも、一線を画した特色ある基礎的研究を期待するものである。さらに先端基礎研究センターとしては中性子科学とは異なった全く新しい方向の研究を J-PARC の稼動にあわせて設立することを計画しているとのことである。大きな変革の時空の流れのなかで、先端基礎研究という言葉を重く受け止めて、原子力科学研究の COE への道を着実に進まれることを望みたい。

今回の事後評価の対象となった 7 研究テーマの成果を拝見し、いずれもその重厚さを深く感じた。特に物質科学の分野では外部の研究者と原研内の研究者がしっかりした取り組みのものに世界に誇れる仕事を残して原研のプロジェクトとして確實に根をおろした。しかし、他の領域のテーマのなかには研究の成果そのものは重厚且つ新鮮で、世界的に誇れる大成功を収めているにも関わらず、原研内でこれを受け継ぐ芽を育てるには時空の隔たりを感じるものや、逆に、センター内部の研究者を中心とした研究テーマで、優れた成果

を挙げて居られるのに原研の中に閉じたものとなって、次のステップが難しいと感じるものも見られた。細かい事に関してはそれぞれの研究テーマの事後評価において触れることがあるが、いずれも研究成果そのものの評価は高い。

提案された J-PARC における中性子散乱研究の態勢の確立への支援計画も入れた平成 16 年度の「先端基礎研究センター」の研究計画は、いずれもが放射場科学、重元素科学あるいは基礎原子科学のいずれかの一つ、または二つに関わるものである。それを実行するため、新規に事前評価の対象として提出された研究テーマは、これまでのセンターの研究の厚みをさらに深めるとともに、これから 5 年間の研究期間中に新法人発足の橋を渡って先端的原子力基礎科学研究の新局面に立ち向かうことになる。本専門部会としては、このような動向を念頭において評価を行った。緻密な実行計画のもとに独創性の高い特色ある展開を期待している。

国をあげて基礎研究重視が強調されている中にも拘らず、提出された資料によると先端基礎研究センターの平成 15 年度の総予算、テーマ当たり及び研究者当たりの研究費が減少している。この点が理解できない。確かに純粋な基礎科学の研究は高価な支援を受けているにも拘らず、そこからすぐに実社会に役立つような新しい技術が生まれるとは限らない。しかし、科学技術という言葉が広がっているように、自然科学の基礎研究の成果と新しい技術開発の時空の距離は非常に接近している。原子力科学基礎研究の重要性、有用性を説くまでもないであろう。研究支援の体制については、本センターの意義と成果をさらに高める観点からのチェックが望まれる。一方、研究者側も、各種の研究助成の公募制度を活用して研究資源のいくらかでも直接外部から導入する工夫をこれまで以上に努力する必要があろう。これはまたその助成申請を通じて、自らの研究内容およびその水準について客観的評価を受ける良い機会ともなる、と考えるべきである。

### 3.2 逆コンプトンガンマ線の生成と核分光の研究：事後評価

#### 3.2.1 研究実績の概要

グループ名： 逆コンプトンガンマ線核分光研究グループ

予算総額： 187,003 千円 (5年間)

グループ構成員：

リーダー	藤原 守 (客員研究員 大阪大学核物理研究センター助教授)
サブリーダー	大島 真澄 (H10.4-H11.3 主任研究員) 杉田 道昭 (H10.4-H12.1 副主任研究員)
サブリーダー 兼務	石井 哲朗 (主任研究員)
兼務	浅野 芳裕 (放射光科学研究センター 主査) 村松 憲仁 (博士研究員) A. Titov (リサーチフェロー、Dubna 原子核研究所教授)
	中野 貴志 (客員研究員、大阪大学核物理研究センター教授) 秋宗 秀俊 (H10.4-H11.3 博士研究員) 菅谷 順仁 (H11.2-H12.8 博士研究員) 堀田 智明 (H12.4-H12.10 博士研究員)

研究目的：

SPring-8 を利用して「レーザー電子光によるクォーク核物理」を推進する。電子とレーザーの正面衝突から世界最高エネルギー (1.5-2.4 GeV) の逆コンプトン・ガンマ線ビームを創り出し、これを原子核・核子に照射しクォーク・グルーオンから構成されている核子の世界を研究し、クォーク・レベルの核子構造、原子核中での中間子の性質、光核反応機構を探ることを目的とする。

主な成果：

平成 10 年度から平成 12 年度までの 2 年間のきわめて短期間で実験装置を完成し、平成 13 年度に  $\phi$  中間子を観測した。平成 14 年から 15 年度の期間は、ガンマ線ビームをターゲットに照射する実験を継続し、光核反応データを大量に取得するとともに、新しいレーザーでのガンマ線ビームの高エネルギー化、取得データの信頼性評価に努めた。結果として、

1. 5 個のクォークから出来ていると考えられる  $\Theta^+$  粒子を 1.54GeV に観測した。
2.  $\Lambda$ 、 $\Sigma$  粒子、ファイ中間子の光生成機構のクォーク力学に関しての重要なデータを得た。

以上の研究実績について評価を受けるものである。

グループリーダー 藤原 守

### 3.2.2 評価結果

#### 3.2.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの目的達成度（評価点 4.8（5 点満点。以下同じ））

世界最高エネルギーの逆コンプトンガンマ線のビームを作り出し、極めて優秀な実験装置を完成させ、それからいくつかの注目すべき成果を得ている。 $\Theta^+$  粒子の発見はおおきな成果であり、装置の建設から始まってここまでこぎつけたことは高く評価されるべきである。当初計画からの予想を越える、世界に誇るべき、極めて高水準の研究成果があがっていることは高く評価できる。着実に目標を達成している。

##### b) 当初の研究計画の妥当性（評価点 4.4）

本プロジェクト発足までに積上げられた実績を基礎において、リーダーは関連大学、原研及び JASRI の研究グループと協同して緻密な計画を建てられ、その上で原研のタンデム加速器を用いた核構造研究者も入った研究グループを作られたものと思う。これだけの成果を挙げるに到った逆コンプトンガンマ線利用に関する研究の当初の計画に関しては極めて適切であった。

しかし当初の研究計画にあったタンデム加速器利用の研究については、分担研究者の配置転換や兼務研究員の別件研究プロジェクトとの重複という事情はあったが、ここから切り離されている。世界的に誇る研究成果であるだけに残念である。

##### c) 成果の波及効果の有無（評価点 4.6）

このような手法は知られていたが、それを GeV 領域に適用して、意味のある実験研究が可能であることを示した。その先鞭をつけた点において、国際的な波及効果は大きい。物理的内容も極めてインパクトの大きいものである。このようなエキゾティックな粒子の探索は 1970 年代に高エネルギー加速器研究機構の 12-GeV の陽子シンクロトロンで高エネルギー研究者によって精力的に取り組まれたが、否定的な結果しか得られなかつたという歴史があり、そのためハドロン分光学が停滞していた。 $\Theta^+$  粒子の発見は、ハドロン物理の研究に新しい展開をもたらすものとなろう。原研の内部よりは外部へのインパクトが大きいであろう。現状では、原研のなかにこの研究成果の意義を理解し興味を持つ者は少ないかもしれないが、この研究が原子力科学のなかで先端的研究であることの認識が高まり、興味を持つ研究者が増えることを期待する。

##### d) 将来への研究開発の展開の可能性（評価点 4.6）

予想できないことも含め、展開の可能性は大きいと予想される。既にこのグループは新しい素粒子共鳴状態  $\Theta^+$  の発見において、未開の領域を拓きつつある。ここまで成果を挙げたところで原研・先端基礎研究センターから離れていくのが割り切れないところがあるが、原研が萌芽を育て成功に貢献した意義は大きい。

### 3.2.2.2 その他の所見

各委員の個別的所見等を以下に記す。

○2 GeV を越えるフォトンビームでハドロンの研究を行える場所は、巨費を投じて作られた米国の Jefferson Lab くらいしかない。そこに、放射光リングの寄生的利用による第2番手のグループとして肩を並べ、彼らを越えるデータを出すようになったのは、極めて大きな意義がある。1-2GeV 領域、すなわち、ストレンジクオークが役割を果たすハドロンの研究はさらに発展するであろう。

○国内外の協力体制がよく出来たことが、成功の要因であった。

○国内、国外の研究者が適材適所で研究に協力している充実した体制で研究が進められ、学会等でも実験手法について活発な討議が行われたものと感じられる。

○添付の論文別刷り（プレプリント）で見る限り、阪大の成果のように見受けられるのは残念である。原研の寄与と成果をもう少し明確なかたちにする必要がある。

○原研の研究者の姿は見えないが、原子力科学の基礎研究を推進するという趣旨に則した研究である。

○本研究計画は核物理学、ハドロン科学、放射光科学等の基礎科学の分野と関係の深いものであると云えよう。これらと関わりが深いと考えられる先端基礎研究センターの5カ年にわたる大きな研究資源を費やした研究テーマであったが、原研内にこのような研究が育つには未だ時間の掛かる事であろう。しかし、原研としては、本研究計画の価値をいち早く見出して、世界に先駆けて支援し、これを成功させたことになる。結果的に日本の原子力科学の発展には大きく寄与したことになる。先端基礎研究センターが原子力科学に関する世界の COE たらんことを目指して、10周年を期に研究領域の再検討を行なう機会に、一層広い範囲を抱擁出来る柱をたて、また研究者が自らの意識改革を進めることを望むが、それとともに、研究テーマのあり方、グループリーダー並びに構成研究員の選び方について再検討する必要があろう。事前評価にかかわる本専門部会としてもその責任は逃れないと反省している。

### 3.3 パルス中性子イメージング検出法の研究：事後評価

#### 3.3.1 研究実績の概要

グループ名： パルス中性子イメージング研究グループ

予算総額： 111,995 千円 (5年間)

内訳 研究設備費	64,687 千円
研究試験費	47,308 千円

グループ構成員：

グループリーダー	片桐 政樹 (主任研究員)
	坂佐井 馨 (副主任研究員)
	岸本 牧 (研究員 H10.4-H11.6)

研究目的：

原研と KEK が共同で計画・建設を開始した大強度陽子加速器計画 J-PARC、米国・SNS 計画、EU・ESS 計画などの大強度パルス中性子源に十分対応できる中性子イメージ検出器の実現を最終目標とし、イメージングプレート及びシンチレータを検出媒体としたパルス中性子イメージング検出法の開発研究を進めた。

主な成果：

優れた高位置分解能特性を持つ中性子イメージングプレートを高速に読み取って時間分解能を付与するイメージングプレートの高速読み取り法の研究を行い、1mm以下の分解能で高速読み取りが可能であることを確認した。イメージングプレートの検出媒体である輝尽性蛍光体として、ホウ素 (B) を含み軽元素から構成される SrBP0<sub>5</sub> の試作研究を行い、ガンマ線感度の低減、Ce<sup>3+</sup> ドープによる短い蛍光寿命化に成功した。

シンチレータを用いた中性子イメージング法については、高位置分解能を維持したまま高計数率化を実現するため、コインシデンス法をベースとした中性子イメージング検出法の研究を行うと共に、中位置分解能で大面積化を実現する中性子イメージング法として、シンチレータと波長シフトファイバを組み合わせた検出法の研究を行った。Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> 単結晶が、低ガンマ線感度を持ち短い蛍光寿命の中性子検出用シンチレータであることを確認した。また、製作工程を容易にしコストの低減化を図るため、シンチレータの背面から蛍光を検出し中性子の入射位置を決定する背面読み取り法の研究を行い、0.6mmの位置分解能が得られることを確認すると共に、大面積化及び超高位置分解能化にも対応可能な中性子イメージング法であることを確認した。

以上により、構造生物学、単結晶、反射率計、全散乱等のほぼ全ての中性子散乱実験及び中性子ラジオグラフィに対応可能としたパルス中性子イメージング検出法を開発できた。

以上の研究実績について評価を受けるものである。

グループリーダー 片桐 政樹

### 3.3.2 評価結果

#### 3.3.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの目的達成度（評価点 4.0（5 点満点。以下同じ））

高感度・広ダイナミックレンジ・高位置分解能のパルス中性子イメージング法の実現を目指して、高選択性の検出媒体の新輝尽性蛍光体の開発やイメージングシステムの構築に努力してきたことが理解出来る。本研究は広く浅くといったところが見えないでもないが、新しい蛍光体の開発や高速読み取り法を実証するなど検出法の実用化に向けて着実な成果が得られている。成果の発表も適切に行われている。

##### b) 当初の研究計画の妥当性（評価点 4.0）

イメージングプレート及びシンチレーターによるパルス中性子イメージング検出法の開発を目標に研究を進めてこられたが、5 年のプロジェクトとしてはテーマをもっと具体的に絞るべきであったかと考える。材料開発とシステム高度化のどちらか、研究グループの得意とするところと他の研究者の協力を仰ぐべきところをもう少し明確にして取り組むとよかったです。発表論文を見る限り、当初の計画にはみられない他からの協力者があったようであるが、少数の研究グループ構成員でこれだけの成果を挙げてこられたのは立派である。

##### c) 成果の波及効果の有無（評価点 4.4）

本研究の成果を期待している研究者は非常に多いことと考える。それだけに原研ばかりではなく中性子利用研究機関、研究者へのインパクトは大きいであろう。この種の開発は、多くの場合、実験プロジェクトの中でその目的に最適化して進めるものである。検出法の開発が先に進んだなら、J-PARC の実験を待つ迄もなく KEK Booster の KENS 実験で始めるべきである。

##### d) 将来への研究開発の展開の可能性（評価点 4.4）

実用化のための問題点を究めて、今後、よりテーマを絞って実用化に向けた展開することを期待したい。この先は具体的な実験計画に結びついた開発を進めるべきで、J-PARC や KENS 実験のグループと密接な連携をとることが大切である。

#### 3.3.2.2 その他の所見

各委員の個別の所見等を以下に記す。

○目標をより具体的にし、どこまで達成すべきか、事前のテーマ設定が必要であったと思う。現在の成果は、ただ広く開発をサーベイしたレベルに留まっている。利用側の要望に即した開発が必要である。

○森井グループと同様に中性子利用研究センターで、その一翼を担う態勢を考えるべきで

はなかろうか。

○J-PARC の建設の一環として、さらなる開発研究を期待したい。

○多くの特許申請が行われている。産官学の共同研究は今後ますます増加する傾向にあるので、特許関係についても、それに対応したシステムを検討しておく必要があろう。

### 3.4 機能性生体物質の水和構造研究：事後評価

#### 3.4.1 研究実績の概要

グループ名： 中性子構造生物学研究グループ

予算総額： 一般研究費 120,016 千円 (5年間)

外部資金 682,400 千円

外部資金内訳	開放的融合研究	621,624 千円
	宇宙フォーラム	60,083 千円
	その他	693 千円

グループ構成員：

グループリーダー	新村 信雄 (研究主幹)
	藤原 悟 (副主任研究員)
	田中 伊知朗 (研究員)
	栗原 和男 (研究員)
その他	融合研究推進員 (延べ) 12 名 外来研究員 4 名、 業務協力員 (延べ) 3 名 STA フェロー 2 名

研究目的：

高分解能中性子構造生物用装置建設を行い、それにより基本的な機能性タンパク質の水素・水和構造を解明し、中性子構造生物学の基礎を確立する。

主な成果：

中性子結晶構造解析の中でタンパク質の結晶構造解析は最も難しい実験の一つであるが、新型モノクロメータ、数 mm 角タンパク質試料単結晶育成技術、大面積検出器中性子イメージングプレートの中性子構造生物学実験に必須の 3 項目すべての開発実用化を成功させ、世界最高性能中性子回折装置 (BIX-3, BIX-3M) の建設に成功した。

この BIX-3, BIX-3M を用い、基本的なタンパク質 (ミオグロビン、ルブレドキシン (野生型と 1 変異型)、ヒトリゾチーム、ニワトリ卵白リゾチーム (pH4.9) 亜硫酸還元酵素 (DsrD)、ブタインスリン) や DNA オリゴマーの全水素、全水和水決定を 1.5-2.5 Å 分解能で行うことに成功した。これらの水素・水和構造を含めたタンパク質構造を総合的に評価し、 $\alpha$ -ヘリックス安定化に寄与する新しい 2 分岐水素結合、タンパク質内水素/重水素交換反応の定量化、変化に富んだダイナミクな水和構造、立体構造化学からは全く予測出来ない水素原子位置決定、酵素反応に寄与する水素原子、熱安定性に寄与する水素、水和構造等新しい発見を行った。また、高分解能中性子データ解析のプロトコールを作成し、中性子構造生物学の基礎を確立した。

以上の研究実績について評価を受けるものである。

グループリーダー 新村 信雄

### 3.4.2 評価結果

#### 3.4.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの目的達成度（評価点 4.9（5点満点。以下同じ））

中性子回折測定装置の精密・高機能化、測定試料の結晶育成技術の開発、水素原子の位置決定、結合状態の解析等の技術を確立し、高次水和構造の微視的決定が次々と精密に行なわれている。DNA の解析実験や生体蛋白質の機能発現機構解明へ前進している様子がよくわかった。研究成果発表論文、国内、国際学会における招待講演等も多く、表彰もされておられる。構造精密化のものも含めると立派な目標に対応した成果が挙がり始めているようださすがであると感心した。

##### b) 当初の研究計画の妥当性（評価点 4.8）

生体試料の構造解析専用の中性子回折装置を建設し、構造生物学が求める水和構造の研究に集中した目標の設定は明快である。それに沿った研究計画も極めて妥当且つ先端的で、研究は順調に進められてきた。研究費も原研からの予算ばかりでなく外部資金も導入して、研究者も多数結集して研究資源の利用が上手に行われている。

##### c) 成果の波及効果の有無（評価点 4.9）

構造生物学が求める水和構造の研究において世界のフロントに立つ研究グループが育ち、生体試料中の水素原子の位置決定がルーティンに行えるようになれば、生物学だけでなく、創薬などの応用面への波及効果も大きい。

##### d) 将来への研究開発の展開の可能性（評価点 4.8）

当研究の目標とするところは 21 世紀の自然科学研究として重要な課題であり、また中性子回折技術は生命科学研究の先端科学技術としてこれからの活躍が約束されている。構造精密化中のヒトリゾチームの水和構造の研究などを含めて今後さらに多くの成果が出てくるであろう。「中性子利用研究センター」における研究の新たな展開を期待したい。

#### 3.4.2.2 その他の所見

各委員の個別の所見等を以下に記す。

○21 世紀の自然科学研究の動向は自然の仕組みを究めていたこれまでの在り方から、自然の営みの研究へと移り、常に活動している自然の理解に歩を進めていると感じました。生体組織の階層間の繋がり、そして機能発現機構の理解へと中性子をプローブとする水素の結合状態探求の方法論の開拓の重要性を感じます。

○時期、場所、資金を最大限に得た、優れた研究である。十分な成果を持っている。今後が更に期待できる。

○中性子を利用した生体物質の研究は今後とも先端基礎研究センターにとって重要なテーマであると期待したい。

○社会的にも関心の深い生命科学の研究であって、中性子利用の有用性を示す上で極めて有効なテーマである。中性子科学の拠点を目指す原研としては、試料の生成法、測定手法に長けた人材を確保していくことが望まれる。

### 3.5 変形核の融合による重元素合成：事後評価

#### 3.5.1 研究実績の概要

グループ名： 変形核重元素合成研究グループ

予算総額： 100,749 千円 (5年間)

内訳	研究設備費	0 千円
	試験研究費	100,749 千円

グループ構成員：

グループリーダー	池添 博 (主任研究員)
	杉山 康治 (主任研究員、H10.4-H13.3、退職)
	石井 哲朗 (主任研究員)
	浜田 慎吾 (研究員、H10.4-H10.12、退職)
	光岡 真一 (研究員)
	西尾 勝久 (H10.4-H13.3まで博士研究員、現 研究員)

研究目的：

超重元素の合成にとって有利な重イオン融合反応を探るために、融合反応機構によれば原子核の変形や閉殻構造の影響を調べること、さらに宇宙における元素合成過程に重要な安定領域から離れた未知の中性子過剰原子核を深部非弾性散乱を使って生成し、その核構造を調べることを目的とする。

主な成果：

葉巻状に変形した変形核  $^{154}\text{Sm}$  や  $^{150}\text{Nd}$  に球形核  $^{60,64}\text{Ni}$  や  $^{76}\text{Ge}$ などを衝突させて重イオン融合反応を調べた結果、変形核の長軸側で衝突する場合は融合障壁を通過しても複合核の形成に至らないが、変形核の短軸側での衝突では融合障壁を通過すると複合核を形成することが判明した。このことは、融合する原子核同士の原子番号の積が 1800 以上で現れる融合阻害現象が原子核同士の接触点と複合核のサドル点との距離に依存し、その距離が短いほど融合確率が大きくなることを明確に示した。さらに、中性子数が 82 で閉殻構造をもつ  $^{138}\text{Ba}$  と閉殻から 4 個中性子の足りない  $^{134}\text{Ba}$  を標的に  $^{82}\text{Se}$  を融合させる実験を行った結果、閉殻構造をもつ  $^{138}\text{Ba}$  との融合反応断面積が  $^{134}\text{Ba}$  との融合反応断面積に比べ約 100 倍大きい事がわかった。このことは、中性子数 82 の閉殻構造が融合反応に重要な役割を演じていることを示しており、重イオン融合反応で超重元素を合成する場合の重要な要素になることを指摘した。

$^{76}\text{Ge}$  や  $^{70}\text{Zn}$ などの重イオンによる深部非弾性散乱により中性子過剰ニッケル領域の原子核  $^{68}\text{Ni}$ 、 $^{67,69,70,71}\text{Cu}$ などを生成し、独自に製作したアイソマー検出器でナノ秒以上の寿命を持つ新アイソマーからのガンマ線を核分光法で調べた。その結果、10 以上の新アイソマーを発見するとともに、 $^{68}\text{Ni}$  は  $^{90}\text{Zr}$  と類似の 2 重閉殻構造であること、 $^{69,70,71}\text{Cu}$  核の励起構造が  $^{68}\text{Ni}$  核を芯とする殻模型でよく説明されることが判明した。

以上の研究実績について評価を受けるものである。

グループリーダー 池添 博

### 3.5.2 評価結果

#### 3.5.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの目的達成度（評価点 4.0（5点満点。以下同じ））

研究テーマが超重原子核の探索実験そのものを狙っているのではなく、重い核の融合反応の基礎研究と理解する限りにおいて、変形した原子核を衝突させた核融合反応について変形の効果を見出し、研究の成果の発表も適切に行われていて、この分野に意義ある貢献をなしていると思われる。国際会議での招待講演も行なっている。深部非弾性散乱を用いた中性子過剰核のスペクトロスコピーも成果が上がっている。しかし、非偏極実験ではやはり限界があり、定性的な結論に留まっており、報告された結果は理論的予想を支持する結果であるが、その理論的説明は必要充分であるとは言い難い。本来の動機であった超重元素生成に挑戦するか、すくなくともその具体的な道筋を示して欲しかった。

##### b) 当初の研究計画の妥当性（評価点 4.0）

超重元素そのものの生成を目指したものではなく、その有効な手段として変形核の利用によって融合反応が起こり易くなるという理論的提案を実験的に確かめることが目標であった。その意味では本計画は妥当であり充分な成果をあげた。人的資源の活用も有効になされている。

##### c) 成果の波及効果の有無（評価点 3.9）

原子核の構造、融合反応の反応機構を理解するための基本的な研究として、原子核物理学の分野に意義ある学術的貢献をしている。重核元素合成は原研内の核物理研究グループ及び核化学研究グループとも密接な関係があるものと考えている。しかし、超重原子核の探索にとって、ここで行われた研究が、本当にどのくらいのインパクトをもっているか判断するのは難しい。

##### d) 将来への研究開発の展開の可能性（評価点 4.0）

超重元素の合成は原子力科学の先端且つ基礎的な学術的重要課題の一つであろう。融合反応過程の「基礎論」を経て、今後、原研として超重原子核の探索にどう取り組むか具体的な戦略が必要である。この種の研究の成果は、加速器の性能如何によるところが大きい。これまでの成果を踏まえてさらなる展開を図るためにには、加速器の性能向上が望まれる。原研独自で超ウラン元素の探索を目指すことは、原研のタンデム加速器では難しい。むしろ理研の計画に合流し、それぞれの特徴を活かした研究を進むことを期待する。

#### 3.5.2.2 その他の所見

各委員の個別の所見等を以下に記す。

○自然の中に潜む未知の力、可能性を開いているような気がする。まさに自然科学研究である。大強度ビームの実現に期待したい。

- 超重元素の合成という目標に向う過程で、新しい成果が十分に得られている。
- 本研究は短期に成果を期待するようなものではなく、長期の視点から着実に行うべきものである。重元素についての COE を目指すからには、現有の施設・設備を利用するばかりではなく、それに必要な施設・設備を整備して行く必要がある。
- アイソマーの研究は、当初の計画にあったものではなく、藤原グループで提案されたものであって本研究との関連性は弱い。何故この研究グループが取り上げたのか理解に苦しむ。先端研のプロジェクトは、それぞれのテーマ毎に事前評価を受けて行うものであって、それぞれのグループが責任を全うすべきものである。
- 超重原子核の探索にとって、ここで行われた研究がどの位のインパクトをもっているのであろうか。反応メカニズムの研究と実際に新しい超重元素を作り出すこととの間にはギャップがあり、結局は後者を追求するしかないのではないか。

### 3.6 超アクチノイド元素の核化学的研究：事後評価

#### 3.6.1 研究実績の概要

グループ名： 超アクチノイド元素核化学研究グループ

予算総額： 110,563 千円 (5年間)

内訳 研究設備費 56,915 千円

試験研究費 53,648 千円

#### グループ構成員：

グループリーダー	永目 諭一郎	(主任研究員)
	市川 進一	(副主任研究員)
	塚田 和明	(副主任研究員)
	西中 一朗	(研究員)
	浅井 雅人	(研究員)
兼務	平田 勝	(抽出分離化学研究グループ 副主任研究員)
	羽場 宏光	(平成 11 年 4 月-14 年 3 月 博士研究員)
	秋山 和彦	(平成 14 年 4 月-15 年 3 月 博士研究員)

#### 研究目的：

アクチノイドを含む重元素の核的・化学的性質を明らかにすることにより、極限領域下での原子核の安定性および大きな原子核電荷と軌道電子との特異な相互作用を解明するという観点から、原子番号 104 以上の超アクチノイド元素を合成し、その化学的性質を明らかにして、重元素の化学的性質における相対論効果の寄与を実験的に見出すこと、未知の原子核の探索やその壊変特性を明らかにすることを目的とする。

#### 主な成果：

東海研究所タンデム加速器を用いて、国内では初めて超アクチノイド元素ラザホージウム（原子番号 104）並びにドブニウム（原子番号 105）の合成に成功した。さらに 1 分間に 2 原子の割合で生成する半減期 78 秒の  $^{261}\text{Rf}$  を対象に、その化学的性質を調べるために迅速イオン交換分離装置を開発し、ラザホージウムの無機酸溶液中の陰イオン交換挙動をきわめて高い精度で系統的に調べることができた。その結果 104 番元素ラザホージウムが周期表第 4 族に属することを実証するとともに、周期表の同族元素（ジルコニウム、ハフニウム）とのイオン交換挙動の明確な違いを実験的に見出すことに成功した。これは重元素で期待される相対論効果の影響を受けた結果として定性的には解釈できることがわかった。

また安定領域から離れた未知の原子核の探索では、短寿命で、極微量しか生成しない原子核を同定するため、ガスジェット搬送装置とオンライン同位体分離器を組み合わせた複合装置を開発した。そして重イオン融合反応で合成される中性子不足アクチノイド領域で 4 個の新しい核種を、またウランの陽子誘起核分裂で生成する中性子過剰ランタノイド領域で 8 個の新しい核種の同定に成功した。

以上の研究実績について評価を受けるものである。

グループリーダー 永目 諭一郎

### 3.6.2 評価結果

#### 3.6.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの目的達成度（評価点 4.9（5 点満点。以下同じ））

わが国初めての超アクチノイド元素の合成に成功し、その迅速分離のための単一原子迅速分離実験システムを構築した。そして原子番号 104 の元素 Rf の化学的挙動を実験的に求め、これまでにない精密な分析結果を入手して Rf 元素の化学的性質に対する相対論的效果を確証することに成功している。さらに核反応生成物の迅速搬送一同位体分離システムの構築を行って超重核種の壊変に関する研究を進めた。ここでも新核種の発見に成功している。本研究ではアクチノイドの陽子誘起核分裂過程の研究にも挑戦して、飛行時間同時測定装置を開発して、新しい知見を得ている。研究の成果は関連する学術論文誌につぎつぎと掲載されており、国際会議における招待講演、学会表彰も数多い。プレス発表も行っている。研究テーマの目的は達成している。

##### b) 当初の研究計画の妥当性（評価点 4.8）

当初の目標設定は意欲的過ぎるように思ったが着実に成果を挙げられた。多くの知見と周到な準備の必要な研究である。若手研究者を結集するなど研究資源の利用も適切である。限られた時間の中で成果が得られたのは、協力体制を含めて、準備が行き届いていたからと言える。

アクチノイド内包フラーーゲンの研究は当初の計画には入っていなかった。研究そのものは非常に興味を引いた。注目に値する仕事であるが、超アクチノイドに関する研究を進めている本研究テーマの中に、アクチノイド化合物の独立的な課題を途中から取り入れた理由は明確にしておく必要があろう。

##### c) 成果の波及効果の有無（評価点 4.6）

我が国に超アクチノイド化学研究の道を拓いたことの意義は大きい。放射科学、核物理、無機化学などを結ぶ実験科学として、重要な意義をもつものと思われる。超アクチノイド元素の化学的性質についての理解を深めるためには、その性質を正しく把握することが大切であるが、そのための精密な実験法の確立に成功した功績は大きい。全世界的な協力体制を構築し、相乗効果を生み出している。海外への波及も大きい。

##### d) 将来への研究開発の展開の可能性（評価点 4.6）

放射性アクチノイドターゲットを扱えるところは、日本では原研しかないし、世界でも五指に満たない。その貴重な原研でアクチノイド化学の研究が始まったことはすばらしい。引き続き新しいテーマのもとに研究が進められるものと理解しているが、これまでのように半減期が数 10 秒しかない超アクチノイド元素の生成量が 1 原子／分程度では研究の発展がもどかしい。入手できる核種は限られている。実験条件を変化させて精度の高い測定を続けるためには合成の収率を 10~100 倍以上に高める必要がある。現在のタンデム加速器ではどうにもならない。上に述べたように原研以外では出来ない研究であるから原研に

強力な加速器を建設するくらいの迫力をもって取り組むべきである。

### 3.6.2.2 その他の所見

各委員の個別的所見等を以下に記す。

- 超重元素の化学的性質に及ぼす相対論効果についてもっと実験例を作ることは出来ないだろうか。研究のこれから発展に期待します。
- 原研として、今後とも発展させてほしい。
- 多くの協力者による適切な協力を得て、成果の得られた研究である。新たなテーマのもとで、引き続いて行われることであるので、その成果を期待したい。
- センターの目的とする「21世紀の原子力関連技術を支える総合的、先導的基礎研究を推進し国際的研究拠点（COE）」となるためには、より長期の戦略、計画が必要かも知れない。例えば、研究に必要な超ウラン元素や超アクチノイド元素は国外からの入手に頼っているが、重元素科学のCOEを目指すのであれば、重元素を自ら製造する必要はないか。また、重元素科学の分野では同位体的にも純粋な試料が必要となる場合が多いことを考慮すれば、その入手方法についても検討していく必要はないかということである。

### 3.7 機能性反応場におけるアクチノイド化学の研究：事後評価

#### 3.7.1 研究実績の概要

グループ名： 機能性場アクチノイド化学研究グループ

予算総額： 175,379 千円 (5年間)

内訳	研究設備費 86,592 千円
	試験研究費 88,787 千円

#### グループ構成員：

グループリーダー	吉田 善行 (研究主幹) 木村 貴海 (主任研究員) 目黒 義弘 (副主任研究員) 磯 修一 (主査) 北辻 章浩 (研究員) 永石 隆二 (研究員) 尾崎 卓郎 (研究員) 佐々木 隆之 (博士研究員 現 京都大学助教授)
兼務	加藤 義春 (調査役)
兼務	青柳 寿夫 (調査役)

#### 研究目的：

超臨界流体相、異種凝縮相界面などの機能性反応場の特性を明らかにし、同反応場でのアクチノイドイオンの状態と反応性を調べ、得た基礎データを基に新規なアクチノイド分離法や化合物合成法の原理を創造する。併せて、多様な機能性反応場におけるアクチノイド等の状態を精緻に把握するためにレーザー誘起分光法や電気化学的測定法を開発して適用する。

#### 主な成果：

超臨界二酸化炭素を媒体とする U(VI)、Pu(IV)、Pu(VI)等の分離法の開発に関する基礎研究を進めた。硝酸溶液中からのこれらのイオンの超臨界二酸化炭素中への分配比の圧力依存性を調べ、分配比と二酸化炭素分子密度との間に明瞭な直線関係を見出し、“溶媒和錯体形成に基づく溶質-溶媒相互作用モデル”を構築してこの関係を式化した。分配の圧力依存性を利用する“圧力制御式”高効率、選択的金属分離法を開発し、同原理による使用済核燃料再処理法を考案した。また、超臨界二酸化炭素中の溶質-溶媒相互作用を定量化し、同媒体中への物質の溶解度と媒体物性との相関を解明するとともに、各種有機リン化合物の溶解度を測定して抽出剤としての適用性を評価した。さらに硝酸-TBP 錯体を反応剤として用いて、ウラン酸化物を超臨界二酸化炭素中に溶解する方法(超臨界リーチング法)を考案し、同法が固体ウラン廃棄物の除染法として高い適用性を持つことを実証した。

時間分割レーザー誘起蛍光分光法(TRLFS)を用いて、アクチノイド、ランタノイドイオンの蛍光寿命からイオン内圈に配位する水分子数を決定する方法を開発し、これにより水溶液中、混合溶媒中、または固体、微生物に吸着したイオンの状態の解明を可能とした。Eu(III)等イオンの状態予測のための“配位環境ダイアグラム”的作成、高温高圧水溶液中

の U(VI) の状態の把握、及び酸性溶液中の  $U^{4+}$  イオンからの発光の検出に成功した。アクチノイドイオンの水相/有機相界面でのイオン移動反応を調べ、開発した液々界面定電位電解法を用いてイオン移動エネルギーを決定した。また中性配位子による同イオンの促進移動反応を解明し、同反応に基づく電解イオン移動分離法、及び  $Pu^{3+}$  イオンセンサー分析法の開発に成功した。

以上の研究実績について評価を受けるものである。

グループリーダー 吉田 善行

### 3.7.2 評価結果

#### 3.7.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの目的達成度（評価点 4.9（5 点満点。以下同じ））

本研究は先に先端基礎研究センターにおいて超臨界二酸化炭素流体によるウランの高効率分離機能が発見されて、そのためのプロジェクト研究が実施されて成功したことを背景に、超臨界流体の物性、媒体としての性格の解明、超臨界場におけるアクチノイド化合物の溶存状態等を、より基礎的に解明することによって新規アクチノイド分離反応場の探索を目的として計画されたものである。そしていろいろの物理化学的手法を導入して新しい解析技術を構築し、超臨界流体における化学種の挙動、溶存状態を明らかにしてきた。そして凝縮相界面こそがアクチノイド元素の分離の機能性を発現する反応場であることを洞察し、研究を多角的に発展させて機能性反応場の構築に基づくアクチノイドイオンの特異的反応性を見出して新規分離法の開発を図っている。その成果は新規性に富み、学術的にも非常に有益である。本研究によって達成された成果をもとに、実用化を目指した研究が態勢を強化して行われるということであり、所期の目的は十分に達成されている。学会誌への研究論文の掲載数も多く本研究の成果に基づく特許申請もかなりある。プレス発表、国内・国際会議の招待講演等でも活躍しており、国際的にも注目されている。先端研のプロジェクトの中で最も成功した研究の一つである。

##### b) 当初の研究計画の妥当性（評価点 4.6）

目標ははっきりしているように見えるが、おおきな拡がりを内包している研究テーマである。内容は超臨界二酸化炭素流体反応場に限らず、新しい機能性反応場の探索も入っている。どのように研究を進め、いかなる方法論に基づいて物質間の相互作用を解明していくか、その選択が大切である。目標の設定は妥当であり、研究資源の利用も適切である。結果的に解析の方法論をレーザー蛍光分光法と電気化学的方法論に絞った点が良かったと感じる。特に蛍光寿命の測定等分光法の活用には注目したい。超臨界二酸化炭素を用いた分離法に直接関係した研究ばかりではなく、関連する研究として、電気化学、分光化学の研究を進めたことが、深みを与えていた。国内外の研究機関との連携もよく、研究の分担も効率的であった。

c) 成果の波及効果の有無（評価点 5.0）

本研究の成果が実用化されれば、ウラン廃棄物処理、徐染、抽出に利用でき、社会的波及効果は大きい。産業利用に大きなインパクトがあると考える。上にも述べたように、超臨界二酸化炭素を用いた分離法に直接関係した研究ばかりではなく、関連する研究として、電気化学、分光化学の研究を進めたことが、大きな波及効果を期待させる結果となってい
 る。

d) 将来への研究開発の展開の可能性（評価点 4.6）

機能性反応場におけるアクチノイドの溶存状態の解明はこれらの元素の選択的分離の効率を高めるための基礎となる情報である。本研究テーマはここで完了することが妥当であると考えるが、この研究で得られた方法論を活用して、これからも地道な機能性反応場の探索と大胆な試みの繰り返しの開発研究が利用されていくことであろう。今後、研究開発の展開は実用化の段階と進んでおり、その発展が期待できる。ウラン廃棄物については除染技術の開発が必要とされている。本研究で検討された分離法はその有力な候補としての展開が期待される。それとともに、それ以外の応用の可能性を探るためにも、これまでと同様に、必要に応じて基礎的な研究のグループとの連携が行われることを期待したい。

### 3.7.2.2 その他の所見

各委員の個別的所見等を以下に記す。

- この研究で得られた新しい媒体系による同位体分離やリチウム元素－炭酸錯体生成反応は可能だろうかと考えました。レーザー蛍光分光法による溶媒和数の決定法は興味深い。
- 原研らしい基礎研究であり、それが実用化に向け進んでいることは高く評価する。
- 本研究が、受賞の対象になっていないことは理解に苦しむ。上層部による推薦の努力を期待する。
- 学術的にも工学的にも大変意義のある成果だと思う。
- 本センターの研究が実用化に向けての試験研究へと発展した例であり、誇るべき成果である。このような例が今後も続くことを期待する。

### 3.8 極限条件におけるハドロン科学の研究：事後評価

#### 3.8.1 研究実績の概要

グループ名： 極限ハドロン科学研究グループ

予算総額： 50,691 千円 (5年間)

グループ構成員：

グループリーダー	千葉 敏 (主任研究員)
	丸山 敏毅 (副主任研究員)
兼務	市原 晃 (副主任研究員)
兼務	宇都野 槩 (研究員)
	奈良 寧 (博士研究員)
	城戸 俊彦 (博士研究員)
	竹本 宏輝 (博士研究員)
	福島 昌宏 (博士研究員)
	V.N. Kondratyev (リサーチフェロー)

研究目的：

強磁場、中性子/陽子比、密度、温度等の極限状態においてハドロン多体系がどのような構造やダイナミクスを示すかをハドロン理論の立場から解明する。ハドロン多体系の極限状態が実現されている中性子星を主な対象として、その構造と進化についての研究を中心に、広く関連する核反応も行う。

主な成果：

分子動力学の手法を発展させて中性子星表面の非一様構造、膨張する無限核物質におけるマルチフラグメンテーションと液相・気相相転移の関連、クォーク物質の性質、低エネルギー核反応における超重複合系の寿命、トンネリング核破碎の可能性などについて新たな知見を得た。また、マグネター表面における原子核の殻構造の変化の可能性を発見し、ソフトガンマリピーター現象を原子核磁化の離散的な変化という描像で理解できることを世界で初めて示した。さらにガンマ線バーストと宇宙における反陽子生成、高密度物質中の $\Lambda$ 粒子の対ギャップの密度依存性についての研究を行い、それぞれ相対論効果によるディラック海の性質変化と $\Lambda$ 粒子の有効質量の変化によるものであることを見いだした。中高エネルギー核反応分野でも JAM、JQMDなどの模型を完成し、応用分野へも貢献した。

以上の研究実績について評価を受けるものである。

グループリーダー 千葉 敏

### 3.8.2 評価結果

#### 3.8.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの目的達成度（評価点 4.3 (5 点満点。以下同じ)）

先行した研究において開発された分子動力学に改良を加えつつ、種々の理論を導入した手法を用いて、初めて中性子星を取り上げて、それを中心にハドロン多体系の極限状態における構造、構成要素の振る舞い等に関する研究を幅広く行ってこられた。多岐にわたる最先端の問題が理論的に研究されている。多種多様の研究に取り組み、やや手を広げ過ぎている感じもあるが、数多くの成果が挙がっている。しかし、これらは他機関の研究者との共同研究によるものが多いが、このうちどれが原研が中心となり、原研チームのリーダーシップで行われて来たのかが判りにくいところがある。理論の方法論、JQMDなどの計算コードは原研が誇れるものであると思う。

##### b) 当初の研究計画の妥当性（評価点 4.1）

幅広い多様な計画であったが、先端的な問題に挑戦している。大規模計算の実行可能な計算機環境を利用するものとしては適切な計画であった。若手研究者を集めたり外部機関との共同研究を行なう等、研究資源の利用は上手く行われている。その成果があったと考える。

##### c) 成果の波及効果の有無（評価点 4.3）

天体物理学分野と原子核素粒子物理学分野の学際的協力関係をもたらしたことは大きな貢献である。その点では、この研究の成果は内外の同研究分野の発展に大きな寄与をもたらしたと云えよう。JQMD や JAM など実用に結びつく理論模型やシミュレーションコードの開発にも努力していることは高く評価できる。放射線遮蔽の計算を行う等の応用への可能性もある。

##### d) 将来への研究開発の展開の可能性（評価点 4.1）

原子力科学の基礎的理論研究の一つとして特色ある研究である。学術的には勿論であるが、原研に基づき物理理論の研究グループも必要であると思われる所以、この研究を発展させるのが適当と考える。しかし、本質的に非相対論的な理論を用いてクォーク多体系や粒子の生成消滅を伴う極限状態を扱うことには限界があるのではなかろうか。将来、相対論的な扱いが可能な理論の開発が原研グループから発信するようになることを期待したい。

#### 3.8.2.2 その他の所見

各委員の個別の所見等を以下に記す。

○これだけの理論的武器と人材があれば、最近問題提起されている K 中間子束縛核のように、高密度の束縛状態のクォークグルオン構造とその崩壊などの問題に切り込めないものか。従来、極限条件下の核というと、高温高密度プラズマか中性子物質にしか目が向

けられていなかった。これまで誰も扱わなかった有限核の高密度基底状態は、中性子星の理解の鍵となり、ストレンジ星の有無とも関連する重要な問題である。実験的にはJ-PARCでの展開が期待されている。

○計算プログラムの開発は高く評価したい。今後とも、原研のカバーすべき分野でのこのような開発を期待したい。

○大きなテーマであるから、短期の成果を求めるというよりは、原子核のモデルを必要とする他のグループのニーズにも対応することとして、長期に取り組む研究と考えられる。

### 3.9 多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究：中間評価

#### 3.9.1 研究実績の概要

グループ名： 極限環境中性子散乱法研究グループ

予算総額： 94,421 千円 (平成 13-15 年度の 3 年間)

内訳	研究設備費	69,962 千円
	試験研究費・運営経費	24,459 千円

#### グループ構成員：

リーダー	森井 幸生 (主任研究員)
サブリーダー	目時 直人 (主任研究員)
	石井 慶信 (副主任研究員/主任研究員)
	富満 広 (副主任研究員/業務委嘱)
	金子 耕士 (博士研究員)
	小池 良浩 (科学技術特別研究員、平成 14 年 10 月まで)
	皆川 宣明 (調査役/業務委嘱、平成 15 年 3 月まで)
	荒木 信吾 (博士研究員、平成 15 年 4 月まで)
兼務	長壁 豊隆 (研究員/副主任研究員)
	相澤 一也 (副主任研究員)
	盛合 敦 (研究員)

#### 研究目的：

中性子散乱用多重極限環境装置とそれに適応する中性子散乱法の開発を行い、物質の多重極限環境下での微視的な構造、磁性、素励起、エネルギー状態等の研究を可能にして固体物性の解明に寄与する。

#### 主な成果：

<極限環境の開発>液体窒素や液体ヘリウム寒剤が不要な「液体ヘリウムフリー希釈冷凍機」を開発し最低温度 41 mK を得た。同様の簡便さでさらに低温を得るために、階段型熱交換器を作製し、連続型熱交換器と混合室の間に追加して冷却テストを実施した。新しい小型サファイアアンビルセルを設計製作し、7 GPa を超える高圧の発生を試みている。液体ヘリウムフリー超伝導マグネットにより、13.5 テスラを安定して得ることが可能となった。計画外ながら、試料を帶電させて静電場中に浮かせ、2500 K を長時間にわたって保持しながら中性子回折実験を行うことに世界で初めて成功した。

<中性子散乱法の開発>中性子分光器 TAS-1 のビーム輸送系の中で、スーパーミラー導入について独自のシミュレーションを行い、波長 0.2 nm 中性子の場合、強度を約 3.7 倍増強できることを明らかにした。これに基づき、集光デバイスを製作した。

<多重極限環境下での物質研究>極低温下の中性子散乱実験によって、ウラン金属間化合物  $U_3Pd_{20}Si_6$  が 18K 以下で強磁性と反強磁性を共存させる磁気構造をもつことを発見した。この磁気構造の安定性には、通常弱くて顔を現さない高次の相互作用が重要であることを突き止めた。さらに、5T 以上の強磁場下で、この高次の相互作用に抗して生じる新しいタイプのメタ磁性転移を発見した。さらに、この物質が強く局在したウラン 5f 電子系である

ことを明らかにした。中性子散乱実験によって極限環境下における UTGa<sub>5</sub> 115 系物質の磁歪、Pr<sub>0.8</sub>Sb<sub>12</sub> の反強四極子秩序、Ce モノプニクタイドの磁気構造などの物性を明らかにした

以上の研究実績について評価を受けるものである。

グループリーダー 森井 幸生

### 3.9.2 評価結果

#### 3.9.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの進捗度（評価点 4.4（5 点満点。以下同じ））

研究の目的が「多重極限環境下における中性子散乱実験法の開発」にあるとすれば、まだ研究途上ではあるが、すでにいくつかの内容の開発が着実に進行している。高圧、強磁场、超低温などの極限条件下で中性子散乱測定を行なうことにより、U<sub>3</sub>Pd<sub>20</sub>Si<sub>6</sub> における強磁性秩序と反強磁性秩序の共存の発見など良い結果が得られている。成果の発表も適切である。

##### b) 当初の研究計画の妥当性（評価点 4.4）

世界と競争して、極限を追及する計画であることを考えれば厳しい計画かも知れないが、目標設定は適切であり、装置の試作のなかには新しい冷凍法の導入も計画されている。研究員の構成も極限環境の構築と実験法の開発に集中している。開発研究は適切に進行している。

##### c) 成果の波及効果の有無（評価点 4.3）

本研究が成功して多重極限環境下での実験法が確立すれば、装置の利用性が大幅に向かう。原研内外の研究者は本開発研究で設置された装置群の恩恵を被り、特異な物性の発見や新しい理論の展開へと前進することが可能となる。波及効果は大きい。簡易冷凍機の開発などは中性子実験にとらわれず、実用的意義は大きい。

##### d) 将来への研究開発の展開の可能性（評価点 4.4）

何より目標とした実験法の確立を成功して欲しい。我が国ではユニークな装置なので、重い電子系の研究等、他では出来ない研究をより発展させる方向にある。中性子利用研究センターに移行した後も、オリジナルな開発を進めてもらいたい。

##### e) 研究を継続ないし終了する妥当性（評価点 4.9）

中性子利用研究センターに移行することは適切であると考える。但し先端研の研究との密接な連携が保たれることが必要である。

### 3.9.2.2 その他の所見

各委員の個別的所見等を以下に記す。

- 以前にも指摘したことであるが、低温関係の実験機器は現在のところオックスフォード・インスツルメンツなど一部の外国企業の寡占状況にある。大量生産に馴染まない実験機器の開発・販売は我が国ではなかなか根付かないが、基礎研究にとって非常に重要なポイントの一つである。今回開発されたヘリウムフリー希釈冷凍機が技術的に完成しつつあるのならば、中性子散乱実験だけに使うのはもったいないので、メーカーと提携して市販化を考えても良いのではないだろうか。
- 中性子利用研究センターに研究活動を移すのは妥当であろう。今後はより広く共同研究の体制をとってもらいたい。

### 3.10 新規なウラン化合物の創成と電子状態の研究：事前評価

#### 3.10.1 研究計画の概要

グループ名： ウラン物質開発研究グループ

グループ構成員：

リーダー	大貫 悠睦（客員研究員 大阪大学大学院理学研究科 教授）
サブリーダー	芳賀 芳範（研究員）
兼務	中村 彰夫（主任研究員）
兼務	山本 悅嗣（副主任研究員）
新規	（原研研究員 1名、博士研究員 1名）

研究目的：

ウランやセリウム化合物の f 電子系は、比較的局在性の強い f 電子と結晶中を自由に動きまわってバンドを形成する伝導電子とが混成して、低温で織りなす強相関電子系である。本研究では、我々がこれまでに確立した純良単結晶育成技術を生かして新物質の創成を目指す。新しい物質は、新しい現象と新しい物質科学の発見へつながるからである。

また、最近著しく発展した高圧技術を利用し、圧力による電子状態の変化を研究する。長距離の磁気秩序が消失する寸前の微小磁気モーメントが揺らいでいるときの電子状態が、通常の磁気秩序状態あるいは一様なフェルミ流体状態と比較して、フェルミ面を形成する伝導電子の性質がどう変貌するのか、超伝導はどういう電子状態で出現するのか、及びその超伝導のケーパー対のメカニズムを、1つの物質に対して圧力をコントロールしながら解明したいというのが本研究のもう1つの目的である。

研究内容：

本研究グループは主として純良なウラン化合物の単結晶の育成と新規な化合物の創成を中心にして、興味あるセリウム化合物の物質創成も行い、また超ウラン化合物研究グループとの研究協力をしながら、ウラン、セリウムやネプツニウム化合物を研究対象物質とする。これらの f 電子系化合物の低温・高圧・強磁場の極限環境下で、量子臨界点近傍の重い電子系状態を電気抵抗・磁気抵抗測定およびドハース・ファンアルフェン効果を中心にして研究する。

新規所要予算： (千円)

初年度	第 2 年度	第 3 年度	第 4 年度	第 5 年度	合計
37,500	35,000	40,600	18,000	18,000	149,100

(主な装置) テトラアーク炉単結晶育成装置（既設）、高周波加熱装置（既設）、X 線回折装置（既設）、SQUID 磁化測定装置（既設）、エレクトロトランスポート精製装置（既設）、希釈冷凍機（既設）微少領域蛍光 X 線分析装置（新設）、比熱測定装置（新設）、15 T 超伝導磁石（新設）

(研究の主な実施場所) 日本原子力研究所 東海研究所

中間評価予定： なし

以上の研究計画について評価を受けるものである。

グループリーダー 大貫 悅睦

### 3.10.2 評価結果

#### 3.10.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの妥当性（評価点 4.9（5 点満点。以下同じ））

現在、物性物理学の最先端の研究テーマであり、早急に開始すべき、重厚な研究である。研究の方向性・目的・目標、すべてにおいて妥当であると評価したい。本研究グループはこれまでにもウラン化合物の研究において非常に高い成果を出してきており、今後準2次元物質の創成や圧力下の物性の研究を外部大学との協力を築きながら進めることは大変妥当なテーマといえる。グループリーダーのこれまでの実績をも考え、先端研の研究テーマとして適していると考える。成果が期待される。

##### b) 研究の新規性・独創性、学術的意義（評価点 4.9）

この研究は、先行してウラン電子系研究として実施され、大成功をおさめた「ウラン化合物における重い電子系の研究」の延長上に位置するもので、これまでの研究成果を背景に新しいウラン化合物の創製に挑戦し、新しい機能の発見に繋げようとするものである。本研究は、新規性・独創性が高く、ウラン化合物の物性研究を主要課題とする先端研の研究の基盤形成をなすものである。セリウムやネプツニウムなどの化合物も研究の対象にいれており、本研究より得られる成果は物性物理学の発展におおいに寄与することが予想されて、その学術的意義も深い。

##### c) 研究の進め方の妥当性（評価点 4.8）

研究計画は良くねられており、国内の他の機関では出来ないウラン試料を原研で創製し、外部の大学等の研究者の協力のもとに、系統的に研究を進めることは、大変有効な進め方で妥当である。

##### d) 資源配分の妥当性（評価点 4.4）

予算、人員構成ともに妥当である。旅費等の項目が示されていないが、研究に支障の無いように、進展に応じて、柔軟な対応が行われるものと考える。

##### e) 成果の波及効果の有無（評価点 5.0）

新規ウラン化合物の誕生、そしてその物性の解明は原研だからこそ出来る研究であり、ウラン化合物の物性研究を主要課題とする先端研の研究の発展を促す研究である。本グループにより育成されるウラン化合物の純良結晶は、原研内の他のグループや国内外の研究

機関に提供され、多数の実験に使われ、成果が出されると期待される。この研究の成果は学術上極めて新規性に富み、重みのある知的財産であるとともに、そこから新しい科学的事象の創発が期待できるし、新しいエネルギー源材料としての研究の誘発も考えられる。また、この研究グループが開発してきた新物質合成技術も大いに活用されることであろう。成果の波及効果は多様である。

### 3.10.2.2 その他の所見

各委員の個別的所見等を以下に記す。

- 原子科学基礎研究としての重みを感じる。高純度の新規なアクチノイド化合物結晶の育成は地味ですが非常に大事な仕事であると認識している。じっくりと歩を進めて成果を積上げてほしい。
- バンド計算のグループだけでなく、原研の理論グループとの連携も期待したい。
- 既に多くの実績があり、今後もこれまで以上に成果が期待できることを考えれば、内部に定常的な組織を設けることも検討に値するのではないか。

### 3.11 中性子散乱によるウラン化合物の物性研究：事前評価

#### 3.11.1 研究計画の概要

グループ名： ウラン中性子散乱研究グループ

グループ構成員：

リーダー	目時 直人 (原研 先端研 主任研究員)
兼務	石井 賢二 (関西研究所・研究員)
	金子 耕士 (博士研究員)
新規	(原研研究員 1名、博士研究員 1名)

研究の目的：

中性子散乱の手法を用いて、ウラン化合物が示す多彩で興味深い物性について、結晶及び磁気構造、そして励起状態の観点から研究し、5f電子系のミクロスコピックな理解を通じて固体物理における新しい基本概念の構築を行う。

研究内容：

局在系から遍歴系に至るまでウラン化合物の系統的な磁気励起の測定を行い、5f電子状態を解明するとともに重い電子系超伝導特有の磁気励起ギャップの研究を行う。5f電子特有の磁気及び軌道などの多極子秩序構造を中性子散乱により明らかにする。さらに磁気及び多極子の励起が結合した新しいタイプの励起モードを発見し、多極子間相互作用による解析を行う。さらにこの多極子秩序と相互作用が超伝導や、金属非金属転移などのエキゾチックな物性に果たす役割を明らかにする。多極子は、今までほとんどの場合無視されてきた新しい自由度であり、その本質的役割を明らかにすることによって現在の物質観が根底から覆ることが期待される。

新規所要予算：(千円)

初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度	合計
28,000	20,000	70,000	10,000	10,000	138,000

(主な装置) 高分解能中性子粉末回折装置 HRPD (既設)、熱中性子三軸型分光器 TAS-1, TAS-2 (既設)、高エネルギー熱中性子モノクロメータ (新設)、高分解能冷中性子三軸型分光器 LTAS (既設)、中性子小角散乱装置 SANS-J (既設)、希釈冷凍機 (既設)、中性子散乱用高磁場マグネット (既設)、中性子散乱用全方位マグネット (新設)

(研究の主な実施場所) 東海研究所

中間評価予定： なし

以上の研究計画について評価を受けるものである。

グループリーダー 目時 直人

### 3.11.2 評価結果

#### 3.11.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの妥当性（評価点 4.4（5点満点。以下同じ））

ウラン化合物の中性子散乱実験は重要で、推進すべきものである。森井グループによる「多重極限下における中性子散乱研究」には、装置開発と中性子散乱法の開発という二つの面があったが、この研究は、同グループの中性子利用研究センター移行に伴い、後者の研究を継続発展させる狙いであると理解した。研究計画によると、ウランを主とするアクチノイド化合物について、中性子弹性散乱実験を通して、電子構造、結晶構造、磁気構造、多極子秩序構造の微視的解析を行い、さらに多極子間相互作用の新しい測定等が計画されている。研究テーマは優れたテーマで、方向性、目標等は妥当である。大貫グループとの協力により、より分業化した系統的な研究が成されることが大変期待できる。

##### b) 研究の新規性・独創性、学術的意義（評価点 4.3）

重い電子系超伝導の磁気励起や多極子間相互作用の研究等では、新しい中性子非弹性散乱実験法の開発を含めてアクチノイド化合物の新規な物質情報の発掘を目指している。ウラン化合物の中性子散乱研究は原研が行うに大変適した環境と設備を有しており、世界的な成果が十分に期待できる、学術的意義の深い研究である。「多重極限環境下における中性子散乱実験法」などの利用により、新たな進展が得られる可能性がある。「ウラン化合物の物性研究」を主題とする先端研の研究テーマの一端を担うものとして、Walstedt グループや大貫グループとの連携を良くとて、独創的な研究を進めるよう期待する。

##### c) 研究の進め方の妥当性（評価点 4.0）

研究の対象としている物質が多様で種類も多い。ウランを主とするアクチノイド化合物に留まらず超ウラン化合物や 4 f 電子系にまで及んでおり、放射光実験も含まれている。原研が保有する研究用原子炉を有效地に利用し、試料作成のグループとの協力関係も確立しており、研究の進め方は妥当であるが、ゆとりある且つ緻密な実験計画の構築を望む。

##### d) 資源配分の妥当性（評価点 3.9）

予定研究員が充足されれば妥当と考えるが、研究推進上の課題・問題点とされている研究支援スタッフの点について、対策が示されていないのが気がかりである。中性子利用研究センターに移った森井グループとの連携に努め、人員や装置の補強を図ることが望ましい。高エネルギー励起のための改造、磁気散乱解析に非常に有効である全方位用マグネットの導入等は妥当なものである。

##### e) 成果の波及効果の有無（評価点 4.3）

本研究はウランを主とするアクチノイド科学と中性子散乱研究に関わる研究テーマとして重要な位置をしめている。他のグループとも協力して、新たな方法を採用し、さまざまなウラン化合物を測定することになれば、その波及効果は大きい。中性子散乱解析の成

果は、ウラン化合物、アクチノイド化合物についての未知の学術的情報を開拓して、これらの化合物の物性理解、利用拡大の道を明るくし、また広げてくれることが期待される。その成果の波及効果は、原研内部の核物理、核化学関係の研究グループや、物性に関する純粋ならびに応用物理学の研究者技術者に拡がることは明らかである。

### 3.11.2.2 その他の所見

各委員の個別的所見等を以下に記す。

○ゆとりのある且つ緻密な計画で新規な物性の発掘に進まれることを望む。ウランをはじめとするアクチノイド化合物の中性子散乱の研究はわが国では原研でしか出来ない特色ある研究であると理解している。

○SPring-8での研究に協力関係が十分行えるような手筈が必要である。

○原研内の他のグループ（森井グループ、加倉井グループ）との研究内容の重複を避ける必要がある。

○当研究はウラン化合物の学術的研究であると判断されることから、広い視野で独創的な研究を期待したい。

○ウラン化合物については、多重極限環境下の測定が行われてこそ、新たな進展が期待されるところが大きいと考えられるので、現在の計画を見る限り、中性子利用研究センターへの移行が予定されているグループと分けることの意義は認め難い。

### 3.12 放射線によるクラスターDNA 損傷の研究：事前評価

#### 3.12.1 研究計画の概要

グループ名： 放射線 DNA 損傷機構研究グループ

グループ構成員：

リーダー	横谷 明徳	(関西研・放射光科学研究センター・副主任研究員)
	鹿園 直哉	(高崎研・イオンビーム生物応用研究部・副主任研究員)
兼務	斎藤 公明	(原研・保健物理部・放射線リスク研究室長)
新規	(原研研究員1名、博士研究員1名)	

研究目的：

本研究では、放射線によるクラスターDNA 損傷を解明することを目的とする。特に突然変異などの重要な放射線による生物影響の原因とされる、修復され難い「重大なクラスターDNA 損傷」の実体を明らかにする。さらに、放射線の線質に対するこれらの損傷の収率依存性に関する知見を得ることで、放射線リスク研究分野においてDNA損傷を指標とする新しい線量概念の提案を行ってゆく。

研究内容：

クラスター損傷を検出するため、超らせん構造DNAであるプラスミドDNAを試料として用いる。照射後のプラスミドDNAに対して塩基除去修復酵素タンパク質であるグリコシレースを作用させると、酸化的塩基損傷部分で酵素活性により1本鎖切断が生じる。このため近接して生じた1本鎖切断と塩基損傷、あるいは二つの塩基損傷からなるクラスター損傷は、グリコシレースを作用させることにより直線構造として検出・定量される。また、クラスター損傷を含む短鎖DNAを人工的に作成し、ベクターを用いてこれを大腸菌細胞に導入する。一定期間大腸菌を培養した後に、大腸菌から回収したDNAの塩基配列の変化を調べることで、細胞環境下におけるクラスター損傷の突然変異などに果たす役割を明らかにする。さらに、放射線によりクラスター損傷が形成される過程で、どのようなラジカル過程を経由してDNA分子内の化学結合の切断あるいは形成が起こるのかを明らかにするため、放射光軟X線ビームラインに接続されているEPR装置、質量分析装置などを使いながら、照射されたDNA試料の化学分析を行う。

新規所要予算：(千円)

初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度	合計
22,000	30,000	15,000	15,000	15,000	97,000

(主な装置) P1認可を受けた生化学実験室2室、高崎研イオンビーム照射装置(既設)、

関西研放射光軟X線ビームライン(既設)、東海研中性子照射装置(新規)

(研究の主な実施場所) 東海研究所

中間評価予定： なし

以上の研究計画について評価を受けるものである。

グループリーダー 横谷 明徳

### 3.12.2 評価結果

#### 3.12.2.1 項目別評価

##### a) 研究テーマの妥当性（評価点 4.5（5点満点。以下同じ））

新しい線量概念の提案という大きな目標であるが、具体的には「クラスター損傷について修復酵素タンパク質の効果を調べる」ということであり、本研究の目的、達成目標そして研究内容の方向も明確である。これまでの原研で積上げられたイオンビームに対する生命科学的研究実験を背景に考えて、本研究の実行は妥当と考える。原研で推進するにふさわしい大変重要な研究テーマである。クラスターDNA 損傷を原研の持ついくつかの異なる線源を有効に利用することによって、より定量的に理解できるものと期待する。

##### b) 研究の新規性・独創性、学術的意義（評価点 4.5）

本研究のテーマは、先端的科学研究が激しく進んでいる生命科学の分野で、じっくりとデータを蓄積して正確な情報を世に伝える役割を持つ、これまで定量的に行われてこなかった非常に重要な研究である。そして生命科学の先端的研究に属するものであるが、非常に地味な研究であると考える。クラスター損傷の重要性自体については従来から良く指摘されているので、修復酵素タンパク質の効果を調べることがセールスポイントであろう。このような研究は他ではまだ試みていないことである。その研究は新規性・独創性・学術的意義が十分備わっている。原研の持っている各種のビームを DNA に当てて放射線損傷を調べるというのは、まさに原研の特色を生かした研究と云えよう。単なる DNA 損傷の解析だけに終わらぬように真の目標達成を期待する。

##### c) 研究の進め方の妥当性（評価点 4.1）

放射光利用実験研究にたずさわる担当研究員が明確でないものの、DNA 損傷の生物物理化学的解析など、研究の進め方は妥当なものと言える。原研の有する放射線源を有効に利用しようとするものであるが、利用計画については、進展に応じて柔軟な対応が望まれる。

##### d) 資源配分の妥当性（評価点 4.3）

新たに P1 施設を必要とし、その上、種々の放射線源を利用する研究である。新 P1 実験室にかかる費用が充分であれば資源配分は妥当であると判断する。研究計画によると放射光利用実験には照射実験と分析実験の両方が含まれており、全スケジュール中のかなりの時間を要している。そのためにはこの分野の研究実験に経験の深い研究者がグループリーダーとなるのが妥当であるが、人員構成については、よく検討すべきである。

e) 成果の波及効果の有無（評価点 4.6）

本研究は、放射線や粒子ビームの生物の突然変異に対する効果をDNA損傷の分子機構的に解明するという最も先端的研究に取り組むものである。DNA損傷を指標とする新しい線量概念が提案出来れば、社会的な波及効果は大きい。放射線の生体への影響は、非常に広範な分野にインパクトを与える問題であり、定量的な成果が得られれば、一定の波及効果が期待できる。その学術的波及効果は、原研の内外、生物学、医学、農学に関連ある諸分野、環境科学、安全科学の研究者、実務者に幅広く及ぼすものであると期待できる。

3.12.2.2 その他の所見

各委員の個別的所見等を以下に記す。

- 生体成分分子中の特定サイトの構成原子の内殻軌道電子を選択励起させる軟X線放射光照射実験は興味深い。
- 原研が進めるべき研究の一つと考えられる。ただし、外部の同種の研究組織との協力体制を築く必要があると考える。
- 原研が行うべき、生命科学の分野であると判断する。
- DNA損傷を指標とする新しい線量概念の提案という大きな目標であれば、原研内はもちろん、他機関との協力も含めて、体制を検討する必要があると考えられる。
- いろいろな放射線を使うと言っても、DNAの損傷を起こす放射線について、変えられるパラメーターはLETだけである。これでは非常に間接的な効果の観測に留まってしまう。赤外FELを用いると選択的に分子結合を切断できるという可能性があって、もっとミクロなスケールの研究が可能になることを指摘しておきたい。

## 別表 先端基礎研究専門部会評価結果（評点）一覧

## 逆コンプトンガンマ線の生成と核分光の研究：事後評価 (5点満点)

(a) 研究テーマの目的達成度	4.8
(b) 当初の研究計画の妥当性	4.4
(c) 成果の波及効果の有無	4.6
(d) 将来への研究開発の展開の可能性	4.6

## パルス中性子イメージング検出法の研究：事後評価

(a) 研究テーマの目的達成度	4.0
(b) 当初の研究計画の妥当性	4.0
(c) 成果の波及効果の有無	4.4
(d) 将来への研究開発の展開の可能性	4.4

## 機能性生体物質の水和構造研究：事後評価

(a) 研究テーマの目的達成度	4.9
(b) 当初の研究計画の妥当性	4.8
(c) 成果の波及効果の有無	4.9
(d) 将来への研究開発の展開の可能性	4.8

## 変形核の融合による重元素合成：事後評価

(a) 研究テーマの目的達成度	4.0
(b) 当初の研究計画の妥当性	4.0
(c) 成果の波及効果の有無	3.9
(d) 将来への研究開発の展開の可能性	4.0

## 超アクチノイド元素の核化学的研究：事後評価

(a) 研究テーマの目的達成度	4.9
(b) 当初の研究計画の妥当性	4.8
(c) 成果の波及効果の有無	4.6
(d) 将来への研究開発の展開の可能性	4.6

## 機能性反応場におけるアクチノイド化学の研究：事後評価

(a) 研究テーマの目的達成度	4.9
(b) 当初の研究計画の妥当性	4.6
(c) 成果の波及効果の有無	5.0
(d) 将来への研究開発の展開の可能性	4.6

**極限条件におけるハドロン科学の研究：事後評価**

(5点満点)

(a) 研究テーマの目的達成度	4.3
(b) 当初の研究計画の妥当性	4.1
(c) 成果の波及効果の有無	4.3
(d) 将来への研究開発の展開の可能性	4.1

**多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究：中間評価**

(a) 研究テーマの進捗度	4.4
(b) 当初の研究計画の妥当性	4.4
(c) 成果の波及効果の有無	4.3
(d) 将来への研究開発の展開の可能性	4.4
(e) 研究を継続ないし終了する妥当性	4.9

**新規なウラン化合物の創成と電子状態の研究：事前評価**

(a) 研究テーマの妥当性	4.9
(b) 研究の新規性・独創性、学術的意義	4.9
(c) 研究の進め方の妥当性	4.8
(d) 資源配分の妥当性	4.4
(e) 成果の波及効果の有無	5.0

**中性子散乱によるウラン化合物の物性研究：事前評価**

(a) 研究テーマの妥当性	4.4
(b) 研究の新規性・独創性、学術的意義	4.3
(c) 研究の進め方の妥当性	4.0
(d) 資源配分の妥当性	3.9
(e) 成果の波及効果の有無	4.3

**放射線によるクラスターDNA 損傷の研究：事前評価**

(a) 研究テーマの妥当性	4.5
(b) 研究の新規性・独創性、学術的意義	4.5
(c) 研究の進め方の妥当性	4.1
(d) 資源配分の妥当性	4.3
(e) 成果の波及効果の有無	4.6

# 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
圧力、応力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
工率、放射束	ジュール	J	N·m
電気量、電荷	ワット	W	J/s
電位、電圧、起電力	クロン	C	A·s
静電容量	ボルト	V	W/A
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束密度	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- E C閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換算表

力	N(=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
9.80665	1	2.20462	
4.44822	0.453592	1	

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ボアズ)}(\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)}(\text{cm}^2/\text{s})$$

圧力	MPa(=10bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 <sup>3</sup>	145.038
0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233	
0.101325	1.03323	1	760	14.6959	
1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>	
6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1	

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605J (計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>	= 4.184J (熱化学)
9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>	= 4.1855J (15°C)	
3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>5</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>	= 4.1868J (国際蒸気表)	
4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>	仕事率 1 PS(仮馬力)	
1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>	= 75 kgf·m/s	
1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>	= 735.499W	
1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1		

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>		1	100
3.7 × 10 <sup>10</sup>	1			0.01	1

照 射 線 量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1

線 量 当 量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

先端基礎研究専門部会評議会報告書  
平成15年度最後・中間・事前評議会



古紙配合率100%再生紙を使用しています